



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEOTECHNIKY

INSTITUTE OF GEOTECHNICS

**NÁVRH HLUBINNÉHO ZALOŽENÍ OBYTNÉHO
DOMU VE VSETÍNĚ**

THE DESIGN OF THE DEEP FOUNDATION OF THE APARTMENT BUILDING
IN VSETÍN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Fišman

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. HELENA BRDEČKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav geotechniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	David Fišman
Název	Návrh hlubinného založení obytného domu ve Vsetíně
Vedoucí práce	Ing. Helena Brdečková
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Masopust, Jan. (2012). Navrhování základových a pažících konstrukcí: Příručka k ČSN EN 1997. Pro ČKAIT vydalo IC ČKAIT, Praha. 208 s. ISBN 978-80-87438-31-2.

Masopust, Jan (2007). Speciální zakládání staveb. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2007, 2 sv. (141 a 150 s.). ISBN 80-214-2770-1.

ČSN EN 1997-1 Eurokód 7. Navrhování geotechnických konstrukcí: Část 1: Obecná pravidla. (2006). ČNI, Praha.

ČSN EN 1997-2 Eurokód 7. Navrhování geotechnických konstrukcí: Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy. (2006). ČNI, Praha.

CHLUPÁČ, Ivo. (2002). Geologická minulost České republiky. Academia, Praha, 436 s. ISBN 80-200-0914-0.

Utíkal, A., Brdečko, L., Zídek R., Brdečková, H. (2013). Statický výpočet pro bytové domy ve Vsetíně-Rokytnici. fa A+Z PROJEKTteam, s r. o., Brno.

JANÍK, Oldřich (2007). Obytný soubor Vsetín-Rokytnice. Inženýrskogeologický průzkum. Cenroprojekt a. s., Zlín.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Student v bakalářské práci provede zhodnocení geologických a geomorfologických poměrů zájmové lokality a vypracuje návrh hlubinného založení stavby.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Helena Brdečková
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je optimální navržení hlubinného založení bytového domu ve flyšové geologii při respektování statické a ekonomické stránky dané problematiky. Návrh vychází ze zadaného zatížení od horní stavby a z podkladů inženýrskogeologického průzkumu provedeného v místě plánované výstavby. Výpočet osamělých pilot je autorem zhotoven manuálně v rozhraní programu Smath a ověřen programem GEO5.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bakalářská práce, hlubinné zakládání, vrtané piloty, apartmánový dům, flyšová geologie, mezní zatěžovací křivka, sedání piloty, GEO5, Smath

ABSTRACT

The topic of this bachelor's thesis is optimal design of deep foundation of apartment building in flysch geology while respecting the static and economic aspects of problem. Design of foundation is based on received informations about load from upper structure and also on engineering-geological survey which was made on the future building site of the planned construction. The calculation of solitary pilot is made by author manually in Smath and verified by GEO5.

KEYWORDS

Bachelors's thesis, deep foundations, bored piles, apartment building, flysch geology, limit load-settlement curve, pile settlement, GEO5, Smath

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

David Fišman *Návrh hlubinného založení obytného domu ve Vsetíně*. Brno, 2019. (73) s., (38) s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce Ing. Helena Brdečková

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Návrh hlubinného založení obytného domu ve Vsetíně* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24. 5. 2019

David Fišman
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh hlubinného založení obytného domu ve Vsetíně* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2019

David Fišman
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Heleně Brdečkové, Ph.D. za příkladně odborné vedení a pozitivní, trpělivý přístup při konzultacích během tvorby této práce. Dále poděkování patří i mé rodině a blízkým, za jejich trpělivost a podporu. Na závěr bych rád poděkoval i skvělé skupině Rakeťáci, díky které se uplynulá léta nesla v daleko veselejším a lepším duchu.

OBSAH

ÚVOD	10
1 TEORETICKÁ ČÁST	11
1.1 FLYŠOVÁ GEOLOGIE	11
1.1.1 FLYŠOVÁ GEOLOGIE V ČESKÉ REPUBLICE.....	11
1.1.2 CHARAKTER FLYŠOVÉ GEOLOGIE	12
1.2 HLUBINNÉ ZAKLÁDÁNÍ	13
1.3 ZALOŽENÍ NA PILOTÁCH.....	14
1.3.1 PRINCIP A FUNKCE PILOT	14
1.3.2 VÝHODY A NEVÝHODY ZAKLÁDÁNÍ NA PILOTÁCH.....	15
1.4 TECHNOLOGIE PROVÁDĚNÍ PILOT	16
1.4.1 VRTANÉ PILOTY	17
1.4.2 RAŽENÉ PILOTY.....	22
1.5 NÁVRH PILOTOVÝCH ZÁKLADŮ	26
1.5.1 METODY NÁVRHU	26
1.5.2 VÝPOČET DLE PRVNÍHO MEZNÍHO STAVU	29
1.5.3 VÝPOČET DLE DRUHÉHO MEZNÍHO STAVU	31
2 PRAKTICKÁ ČÁST.....	33
2.1 OBJEKT BYTOVÉHO DOMU A JEHO POLOHA	33
2.2 GEOLOGICKÉ POMĚRY V ŘEŠENÉM ÚZEMÍ.....	35
2.3 GEOTECHNICKÉ POMĚRY V ŘEŠENÉM ÚZEMÍ	37
2.4 ZATÍŽENÍ.....	39
2.5 STATICKÝ POSUDEK PILOT	40
2.5.1 MANUÁLNÍ POSOUZENÍ V PROGRAMU SMATH	41
2.5.2 POSOUZENÍ V PROGRAMU GEO5	51
2.5.3 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ Z JEDNOTLIVÝCH POSUDKŮ.....	62
3 ZÁVĚR.....	67
4 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	68
4.2 KNIHY.....	68
4.3 JINÉ ELEKTRONICKÉ ZDROJE	69
4.4 NORMY	70
5 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	71

5.1 SEZNAM OBRÁZKŮ	71
5.2 SEZNAM TABULEK.....	71
6 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	72
7 SEZNAM PŘÍLOH.....	73

ÚVOD

Cílem této práce je návrh hlubinného založení bytového domu ve Vsetíně. V teoretické části je stručně popsána geologie, která se v České republice nachází a následně je blíže popsán charakter geologie, které se věnuje praktická část.

Další pokračování teoretické části se již věnuje hlubinnému zakládání s důrazem na zakládání na pilotách. Pro ty je blíže rozepsáno rozdělení na jednotlivé typy a jejich specifika. Na závěr je stručně popsána podstata návrhu a úskalí výpočtu.

Praktická část se již věnuje zhodnocení konkrétních podkladů ze zprávy inženýrskogeologického průzkumu. Nejprve je odvozen návrhový geologický model s příslušnými geotechnickými parametry. V dalším kroku jsou zpracovány podklady zatížení od horní stavby a na ně navazující rozdělení do skupin, které bude možné sjednotit pod stejnou geometrii pilot. Následně je podrobněji rozepsán manuální výpočet, vytvořený autorem, pro nejvíce namáhanou pilotu s pomocí programu Smath. Na závěr je proveden výpočet pomocí programu GEO5 a učiněno srovnání výsledků manuálních výpočtů všech pilot s výstupy z programu GEO5.

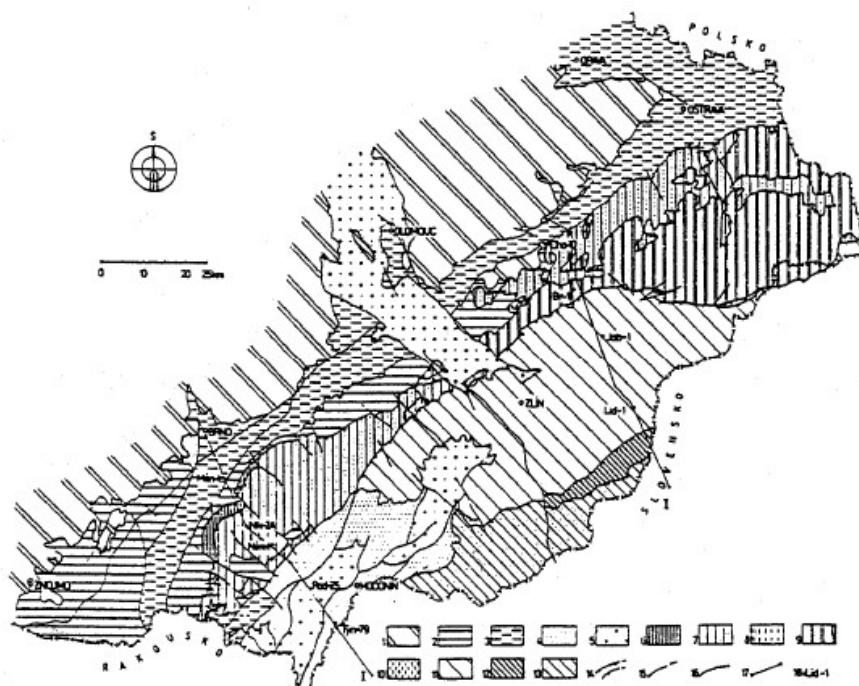
1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 FLYŠOVÁ GEOLOGIE

Vzhledem k řešenému tématu je vhodné nejprve krátce uvést problematiku flyšové geologie v České republice a vysvětlit její vznik.

1.1.1 FLYŠOVÁ GEOLOGIE V ČESKÉ REPUBLICE

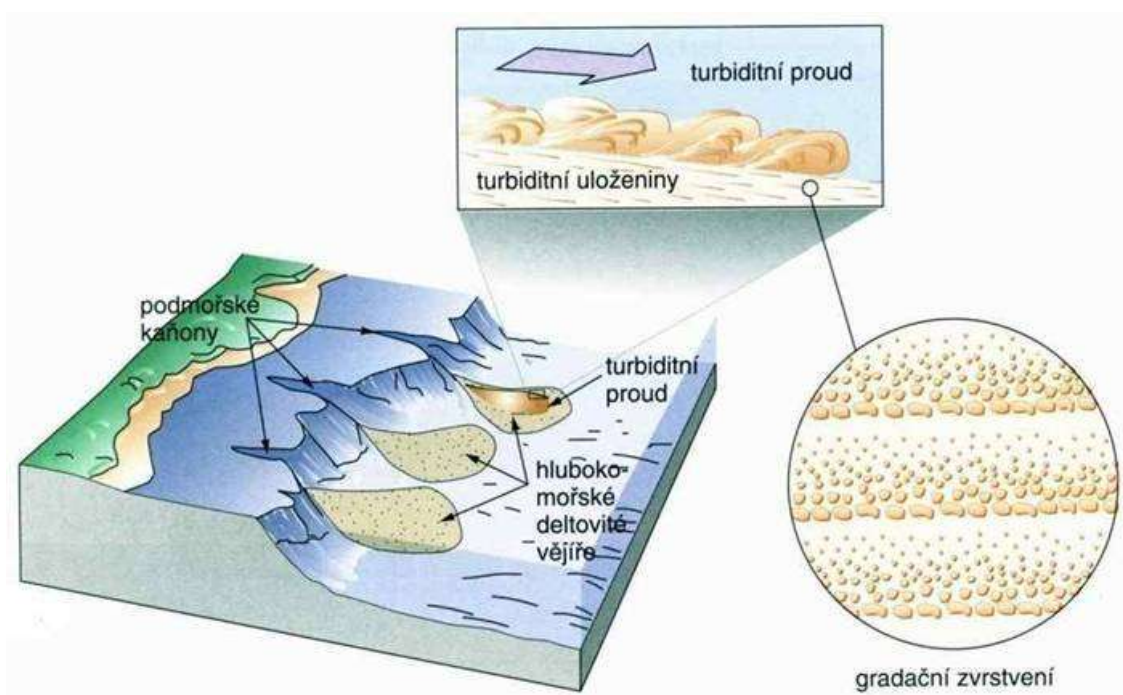
Geologie České republiky je v porovnání s ostatními zeměmi značně rozmanitá. Souhrnně lze Českou republiku rozdělit na dvě základní geologické jednotky, a to na Český masív a Západní Karpaty. Právě Západní Karpaty se svou příkrovovou stavbou, jsou místem častého výskytu flyšové geologie. Konkrétněji se jedná o flyšové pásmo, které v České republice vystupuje na východní Moravu v oblasti vnějších Západních Karpat. Celé flyšové pásmo nepřerušeně probíhá od Alp („rýnsko-dunajský flyš“), přes Českou republiku, Slovensko, Polsko a navazuje na flyš „moldavid“ na Ukrajině a v Rumunsku [16]. Západní Karpaty se díky odlišnému vzniku a vývoji alpinským vrásněním od Českého masívu výrazně liší. Jsou obvykle tvořeny sedimentárními horninami nacházejícími se okolo tzv. krystalických jader z magmatických metamorfovaných hornin [2].



Obr. 1 - Západní Karpaty na Moravě s okrajem Českého masívu: 1 - Český masív, 2 až 5 - neogén, 6 až 13 - paleogén, 14 - příkrovy a přesmyky, 15 - zlomy [2]

1.1.2 CHARAKTER FLYŠOVÉ GEOLOGIE

Flyšové sedimenty vznikaly v období křídý a paleogénu. Vyvrásněny byly v období paleogénu a neogénu. Jejich geologická stavba je velmi složitá, kvůli vzniku naložením jednotlivých vrstev sedimentů na sebe. Na vzniku se značně podílely turbiditní proudy. Ty vznikají podvodními sesuvy a jedná se o proud vody smíchaný s částicemi jílu a písku. Vzniklá zahuštěná hmota dále eroduje podvodní svah, po kterém se sesouvá do nového stabilního stavu. Tímto sesuvem přináší na místa, kde obvykle probíhala sedimentace velmi jemných částic, částice hrubší a větší. Jedná se o opakovaný jev spouštěný seismicitou, nebo opakovaným nadmírným nahromaděním materiálu (např. fluviálně). Následným vzájemným prolínáním sedimentů způsobeným vrásněním vznikají značné nepravidelnosti, co se týče mocnosti a četnosti střídání. Pro tuto geologii je tak charakteristické střídání pískovců, jílovců, písků a jílu, a také zjemňování směrem vzhůru (tzv. Boumova sekvence). Horní vrstvy bývají často, vzhledem k malé odolnosti vůči erozi, značně zvětralé a je obvyklé, že štěrkové, případně pískové vrstvy jsou často zvodnělé a jsou zaizolovány jílovými vrstvami [2].



Obr. 2 - Turbiditní proudy a gradační zvrstvení [16]

1.2 HLUBINNÉ ZAKLÁDÁNÍ

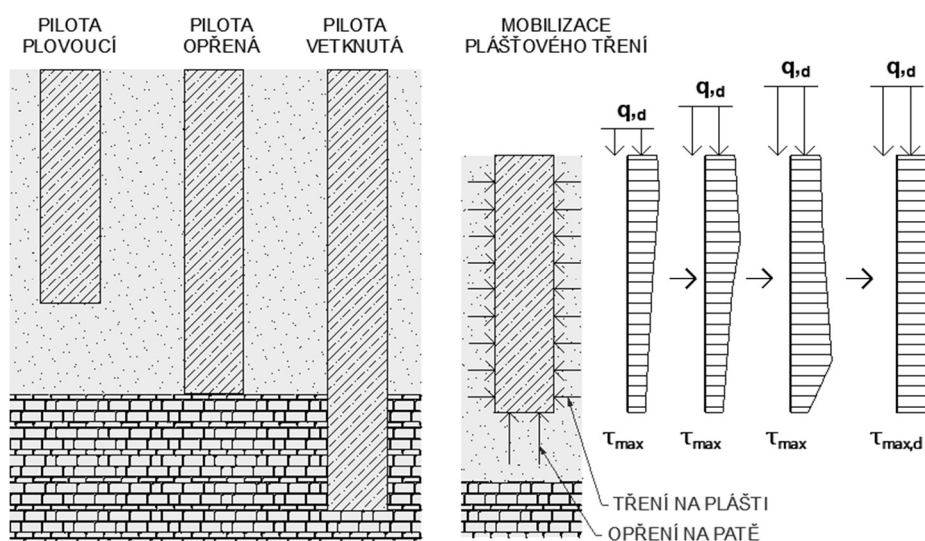
Hlubinné zakládání staveb je součástí přirozeného vývoje nároků na velká rozpětí a vertikálnost staveb, kdy se v reakci na tyto požadavky zvyšují nároky na únosnost a minimalizaci sedání. Svou funkcí a tvarem nám umožňuje přenést zatížení hlouběji do únosnějších vrstev, popřípadě do poloh, kde nezpůsobí přetížení stávajících konstrukcí a přetížení od spolupůsobení. Dalšími důvody použít těchto metod může být vysoká hladina podzemní vody, nebo obzvláště nepříznivá geologie mezi které se řadí například právě i geologie flyšová. Kritéria zatížení a malého sedání mohou, v případech vyšších nároků, vést k výrazné nevýhodnosti řešení pomocí plošných základů, a to zejména z ekonomického hlediska, spojeného se spotřebou materiálu a množstvím odtěžené půdy. Hlubinné základy mohou být piloty (mnoho typů), studny, kesony, podzemní stěny, mikropiloty a případně i další speciální technologie, jako jsou kotvení a trysková injektáž. Materiály pro hlubinné zakládání mohou být různorodé, nicméně dominantním je železobeton. Mimo zmíněné řešení se ještě v některých případech nabízí, jako alternativa pro požadovanou únosnost, využití technologií zlepšování zemin základové půdy. Mezi ty se řadí: předtížení (s případným urychlením konsolidace), dynamické zhutňování pomocí impulsů nebo vibrací, vyztužení zemin s roztlačením (šterkové pilíře, betonové sloupy) a vyztužení zeminy bez roztlačení (deep soil mixing). I když se tyto technologie neřadí přímo mezi hlubinné zakládání, jsou s ním úzce spjaty. V České republice je většina hlubinných základů právě z pilot, konkrétně z pilot vrtaných, případně méně často z pilot ražených.

1.3 ZALOŽENÍ NA PILOTÁCH

Z důvodu majoritního zastoupení v oblasti hlubinného zakládání, spolu se samotným využitím této technologie při návrhu v praktické části, je v této práci primárně soustředěna pozornost právě na založení na osamělých pilotách. Blíže jsou rozvedeny piloty vrtané a ražené. Na závěr je pozornost soustředěna k návrhu a výpočtu vrtaných pilot.

1.3.1 PRINCIP A FUNKCE PILOT

Piloty jsou prutové základové konstrukce obvykle kruhového (při použití vrtu), případně i jiného průřezu (zejména prefabrikované), působící jako samostatný prvek, nebo jako skupina, která spolupůsobením dále zvyšuje svoji únosnost. Přenos zatížení z konstrukce do zeminy probíhá přes plášťové tření a opření v patě. Odtud základní rozčlenění na piloty opřené, plovoucí případně vetknuté. Pro plnou únosnost skrze plášťové tření, je nutná plná mobilizace plášťového tření. K mobilizaci dochází od hlavy piloty po její patu. Postup a míra mobilizace je ovlivněn tuhostí, aktuálním zatížením a sednutím. Pro plnou mobilizaci může být nutné sednutí okolo 5–30 mm (dle geologie a technologie). Napětí na patě se aktivuje pomaleji a vyžaduje větší deformace. V případě opření piloty o kvalitní horninu (R1 a R2) zpravidla nedojde k významné mobilizaci a zatížení se tak přenáší víceméně pouze patou [1].



Obr. 3 - Členění působení pilot, mobilizace plášťového tření

Délkou piloty a průměrem lze aktivně ovlivňovat únosnost na svislé zatížení. Konstrukce piloty je sama o sobě i značně ohybově tuhá (roste s průměrem a stupněm vyztužení, klesá s délkou) a je proto vhodná i pro přenos ostatních složek zatížení.

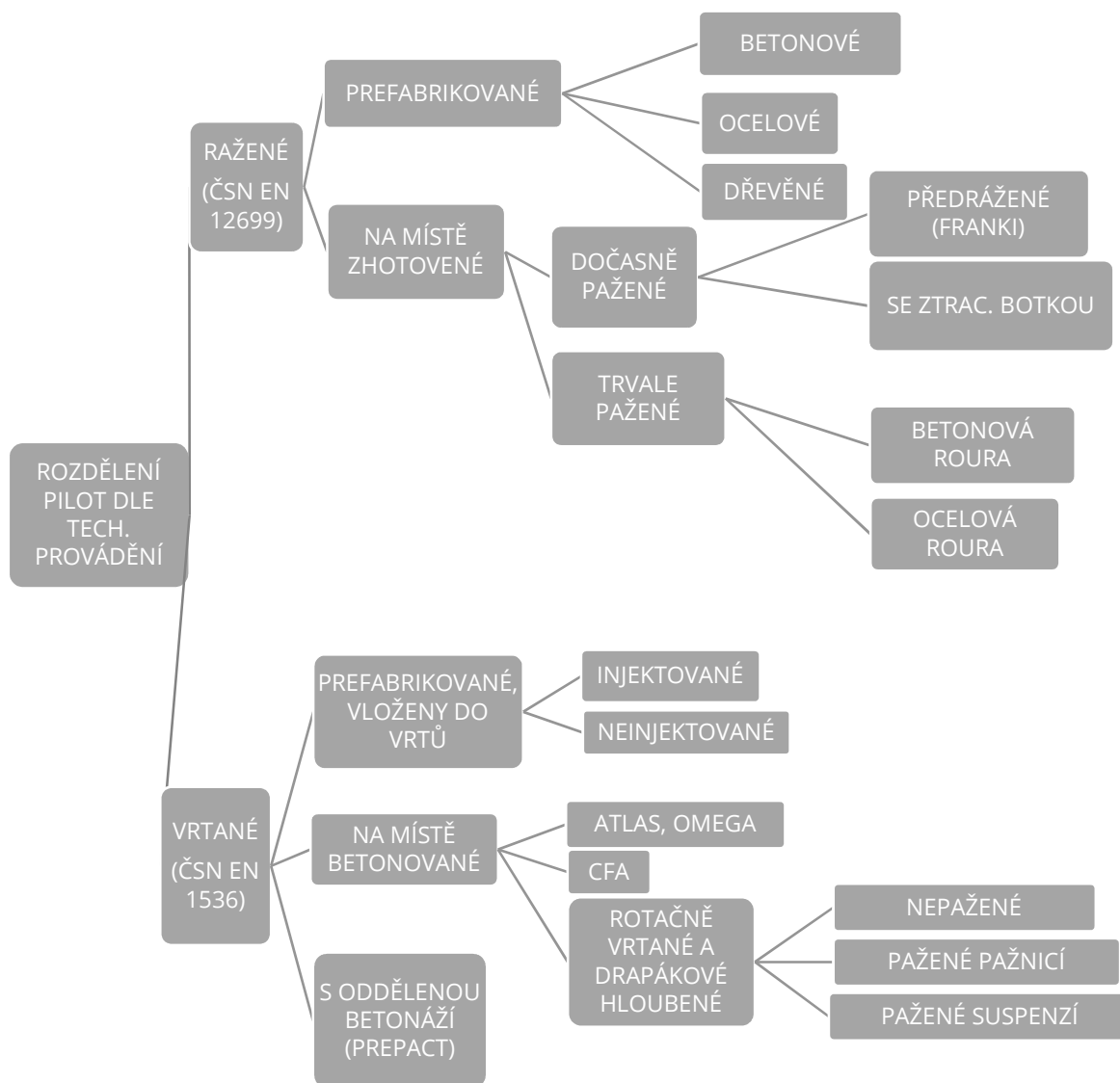
1.3.2 VÝHODY A NEVÝHODY ZAKLÁDÁNÍ NA PILOTÁCH

Hlavní výhodou a důvodem použití pilot je velmi vysoká únosnost, kterou lze dosáhnout i v relativně velmi špatných podmínkách (cca 1 – 15 MN). Obzvláště v České republice lze často dosáhnout únosných skalních až poloskalních podloží již v hloubce okolo 10 až 20 m, do kterých lze piloty vetknout. Z ekonomického hlediska jsou piloty i díky rychlosti a jednoduchosti provádění zcela schopny konkurovat plošným základům a cena se tak odvíjí spíše od spotřebovaného materiálu [1]. S rostoucím průměrem značně narůstá ohybová tuhost. V případě vrtaných pilot lze i přímo kontrolovat geologickou skladbu dle vývrtů a porovnat tak skutečnost s předpoklady. Pilot lze využít pro různé namáhání (svislý tlak, tah, ohybové momenty, vodorovné síly). V případě ražených pilot je výhodou i zhutnění a zvýšení únosnosti okolní zeminy během zarážení, při téměř nulových pracích se zeminou (bez vývrtu, pouze zarovnání nadzdvižení okolní zeminy).

Za nevýhody mohou být považovány možnosti zavalení vrtů bez pažení, nebo případně při pažení suspenzí. Dalšími jsou i ekologické aspekty pažení suspenzí a prodloužení prací při použití pažení spolu se snížením tření na plášti, tedy únosnosti. Mimo jiné hrozí i riziko vytažení a deformace armokoše během vysouvání ocelových výpažnic. Kvalita provedení se velmi odvíjí od zkušenosti zhotovitele. Konečná vizuální kontrola provedení není možná (pouze odkop), jako doplňková metoda kontroly provedení, však může být zkouška integrity pilot. Podzemní voda může práci velmi zkomplikovat, v případě velkých tlaků může dojít k narušení vrtu případně jen dna.

1.4 TECHNOLOGIE PROVÁDĚNÍ PILOT

Piloty lze dle způsobu provádění rozdělit na dvě hlavní skupiny, na piloty ražené a vrtané. Každá technologie má přitom svá specifika, podmínky použití a mnoho dalších hledisek vedoucích na konečnou volbu pro konkrétní projekt. Podrobnější rozdělení pilot dle technologie provádění lze rozvrhnout do přehledného stromu, viz Obr. 4.



Obr. 4 – Evropská klasifikace pilot [1]

1.4.1 VRTANÉ PILOTY

Vrtané piloty lze dále členit na těžené, rotačně náběrově vrtané a vrtané průběžným šnekem. Průměry pilot se pohybují v intervalu od 0,4m až po 1,5m v závislosti na potřebné dosažené únosnosti a možnostech zhotovitele. Pro větší průměry musí být použity pažící suspenze. Délky pilot mohou dosahovat až 50 m, výjimečně i více. Provádí se s konstantním, nebo po délce proměnným průměrem (rozšíření dířku, nebo paty). Dle zkušenosti, technologie a strojního vybavení lze případně piloty provádět kromě směru svislého i pod ukloněním. Normalizované průměry jsou vypsány v Tab. 1.

Průměr varné pažnice	630	720	820	920	1 020	1 220	1 420	–	1 620	(1 820)
Průměr spojovatelné pažnice	630	750	880	–	(1 020) 1 080	1 180 (1 220)	–	1 500	–	1 800
Průměr vrtného nářadí	570	630	770	870	920	1 070	1 220	1 350	1 500	1 700

Tab. 1 - Průměry pažnic a vrtného nářadí [1]

Pažení vrtů

Pažení vrtů se volí v závislosti na geologii, průměru vrtu a podzemní vodě. Může být provedeno pomocí průběžného pažení ocelovou pažnicí s následným vytažením, popřípadě s pažnicí ponechanou. Mechanicky tak brání hroucení a znečištění vrtu. Pažnice jsou instalovány rotačním zavrtáním vrtací soupravou (ve směru proti vrtání), zavibrováním, nebo případně zarážením a to před, nebo během vrtání samotného vrtu. Další možností je použití pažící jílové, nebo bentonitové suspenze. Ta hydraulicky paží vrt během zhotovení a při betonáži rourou od počvy vrtu je vytlačována betonovou směsí k povrchu, kde je odčerpána a přečištěna. Od této metody se v současnosti upouští, je-li to možné, kvůli ekologickým aspektům. Je-li vrt v dostatečně stabilní zemině, nabízí se provádět jej bez použití pažení. Volba technologie pažení se promítne do výpočtu tření na plášti. Zeminy soudržné s indexem konzistence $I_c < 0,5$ a zeminy nesoudržné s indexem ulehlosti $I_d < 0,5$ by měly být paženy vždy [1].

Zhotovení pilot – betonáž a výztuž

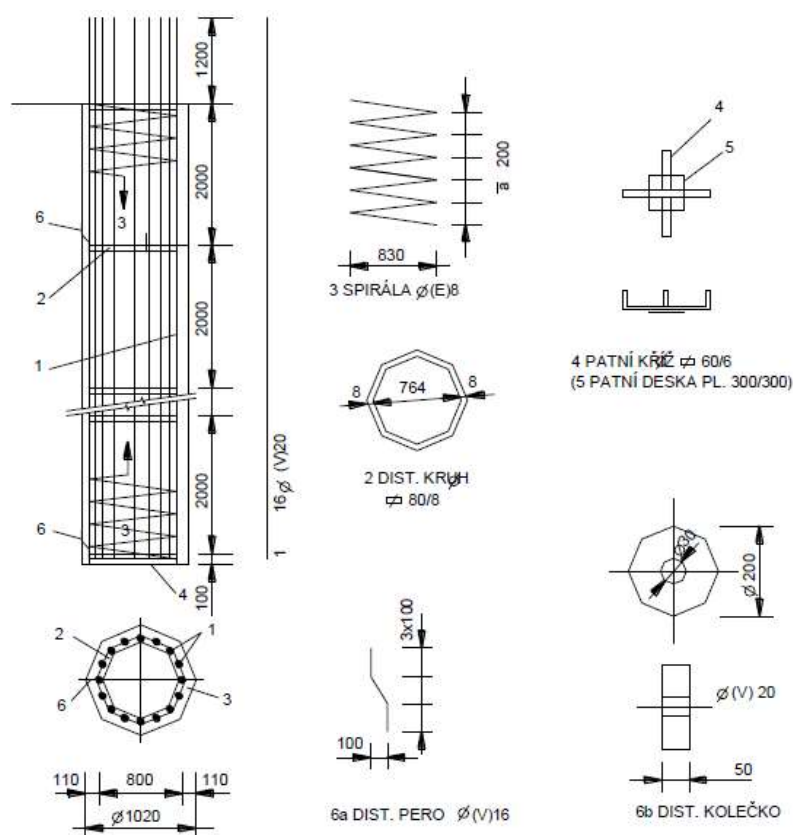
Před betonáží je nutno zkontrolovat hloubku, kompaktnost vrtu, provést dočištění a případně odčerpat vodu. Betonáž musí začít co nejdříve po vrtání. Z důvodu časové nestálosti vrtů v některých zeminách způsobené bobtnáním, průsakem a rozbředáním, může být nutné provést dočištění bezprostředně před betonáží, a to prohloubením piloty o 1,5 m až dva průměry. Piloty z prostého betonu se smějí namáhat výhradně na tlak, a to jen v zeminách, které nejsou náchylné ke ztrátě stability. I u pilot z prostého betonu se však nachází výztuž v hlavě pro navázání na konstrukci základových pasů, patek a kalichů. Tato spojovací výztuž se obvykle vkládá do čerstvého betonu. Pro všechny ostatní typy namáhání a jejich kombinace se využívá železobetonových pilot, nebo případně jiných materiálů. Používá se betonová směs značně řidší konzistence s plastifikátory a dalšími přísadami, které zajistí samozhutnění, odolnost proti rozměšování a další potencionálně nutné vlastnosti. Maximální velikostí kameniva se volí $D_{\max}=30$ mm (i skrze vzdálenost mezi jednotlivými pruty). Tím je umožněno lepší vyplnění vrtu betonem a možnost dodatečného osazení výztuže. Složení betonu by mělo v zásadě odpovídat požadavkům ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Podle této normy se stanovují požadavky na třídu betonu, jež by měla být v rozmezí C16/20 až C30/37 [1]. Je vhodné připravit beton na případnou agresivitu prostředí dle rozboru podzemní vody a zeminy (sírany, uhličitany...). vyztužených obdobně jako sloupy.

Výztuž se tak skládá z podélné, příčné a pomocné. Musí splňovat nároky na minimální vyztužení železobetonových vrtaných pilot uvedené v Tab. 2.

Jmenovitá průřezová plocha dříku piloty A_C	Plocha podélné výztuže A_s	Pravoúhlé a kruhové třmínky a spirála	≥ 6 mm a $\geq \frac{1}{4}$ největšího průměru podélné výztuže
$A_C \leq 0,5 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,5 \% A_C$	Výztužné sítě jako příčná výztuž	≥ 5 mm
$0,5 \text{ m}^2 < A_C \leq 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,0025 \text{ m}^2$		
$A_C > 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,25 \% A_C$		

Tab. 2 - Minimální vyztužení železobetonových vrtaných pilot a příčná výztuž [1]

Minimální krytí výztuže u pilot s profilem průměru menším, nebo rovno 0,6 m je 50 mm, u pilot s průměrem profilu větším, než 0,6 m pak 60 mm. U pilot pažených spojuvatelnými pažnicemi se krytí výztuže zvětšuje, a to obvykle o tloušťku stěny této pažnice, jež bývá 40 mm. Výztuž vrtaných pilot se vyrábí obvykle předem ve formě armokoše, který musí být dostatečně tuhý, viz Obr. 5. Pokud to je proveditelné, zapouštějí se armokoše do vrtů vcelku, bez styků [1]. Roura k usměrnění, kterou se provádí betonáž, má průměr vždy větší než 200 mm, a současně více jak osminásobek maximálního zrna kameniva v betonu. Nastavuje se do středu vrtu, aby nedocházelo k nárazům o výztuž při pádu betonu. Při betonáži pod hladinou vody (případně suspenze) se používá metoda Contractor - sypáková roura s průměrem menším než 80% světlé šířky armokoše. Je potřeba zajistit plynulý přísun betonu a dále pokračovat s ponořenou rourou (1,5m pro $d < 1,2$). Betonáž pokračuje, dokud se v hlavě nenachází neznečištěný kvalitní beton. Suspenze musí být během betonáže odčerpána a přečištěna.



Obr. 5 - Příklad armokoše vrtané piloty: 1 – podélná nosná výztuž, 2 – distanční kruhy z ploché oceli, 3 – příčná výztuž ve formě spirály, 4 – patní kříž z ploché oceli, 5 – patní deska z plechu, 6a – distanční vložka ve formě háku, 6b – distanční kolečko [1]

Náběrové rotační vrtání

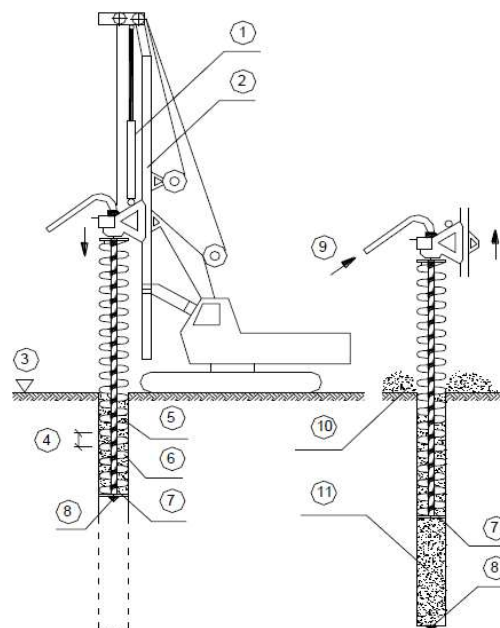
Postup náběrovým rotačním vrtáním je velmi univerzální, ale poněkud pomalejší, jelikož postupuje po jednotlivých návrtch. Každý návrt je vždy nutno vytáhnout a vysypat, popřípadě střídavou rotací odstředit od vrtného nástroje, což probíhá obvykle na nákladní vůz, nebo na místo poblíž vrtu, odkud je dále materiál naložen nakladačem a odvezen na skládku. Tento postup značně prodlužuje dobu zhotovení jedné piloty. Může se využívat vrtného hrnce který je výhodný pro poloskalní, ale i nesoudržné, zvodnělé nebo balvanité zeminy (pro ty je nezbytný). Tyto zeminy by při vytahování měly tendenci opouštět vrtný šnek, což je současně i alternativa pro hrnec a je vhodný jen pro soudržné zeminy. S vrtným šnekem je práce o něco rychlejší, jelikož odpadá nutnost práce s vyklápěcím dnem hrnce, toť ovšem za cenu většího znečištění na staveništi i v počvě vrtu, u kterého ostatně hrozí o něco větší riziko porušení stěn při vytahování zeminy. Ve skalních horninách je nutno použít místo hrnce či šneku, vrtnou korunku. Jednotlivé vrtné nástroje jsou popsány na Obr. 7. Průměry lze (stejně jako i technologii) měnit v průběhu vrtání. V průběhu je vhodné kontrolovat stav břitů, kompaktnost vrtu a případné zaplnění vrtu vodou. Dále je vhodné se přesvědčit, zda vytěžená zeminy odpovídá předpokladům a (je-li to nutné) přizpůsobit další postup novým zjištěním. Po dosažení projektované hloubky je osazena armatura a začíná betonáž rourou od počvy vrtu (je vhodné dbát na malou výšku volného pádu skrze zachování správně promíchané směsi) [1].

Těžení drapákovým hloubením

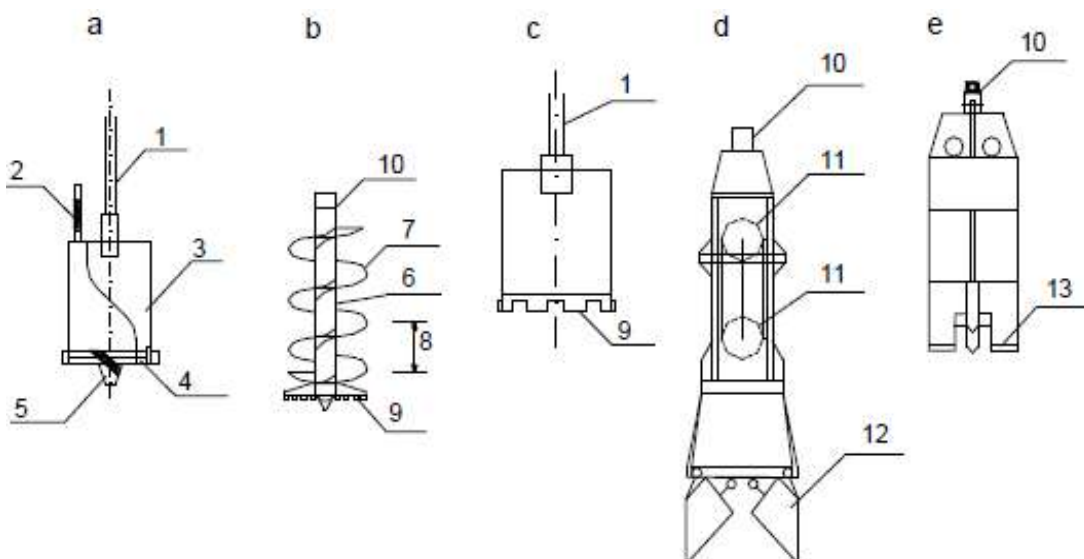
Drapákové hloubení probíhá pomocí drapáku spouštěného lanovým bagrem do pažnice, která je zatlačována dopažovacím zařízením. Pažnice je zatlačována jako první, a to během hloubení, nebo zcela před ním.

Vrtání průběžným šnekem (CFA)

Postup vrtání pomocí průběžného šneku (CFA) je o poznání rychlejší z důvodu upuštění od návrtů a provedení jednoho dlouhého vrtu kontinuálním šnekem. Dutým jádrem šneku je při dosažení projektované hloubky zahájena betonáž pod tlakem, za současného vytahování dle Obr. 6. Na samotný závěr je do betonové směsi zatlačena výztuž, což je současně poměrně riskantní část, při které může dojít k poškození nebo nesprávné poloze armatury. CFA piloty lze zhotovit pouze v zeminách, nikoliv v kompaktních horninách [3].



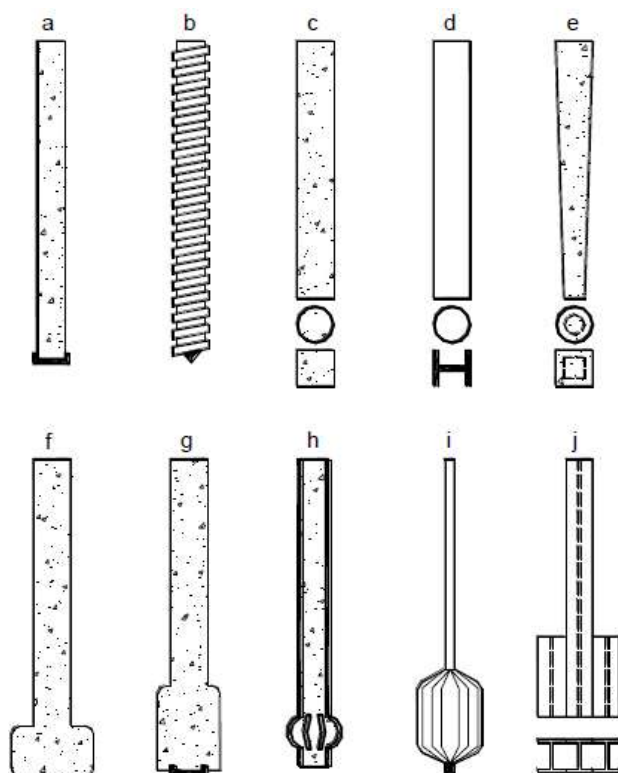
Obr. 6 - Technologie provádění pilot průběžným šnekem (CFA): 1 – přitlačný válec, 2 – věž vrtné soupravy, 3 – pracovní plošina, 4 – výška závitů, 5 – rozrušená zemina, 6 – průběžný šnek, 7 – vnitřní roura, 8 – zátka roury, 9 – přívod betonu [1]



Obr. 7 - Vrtací nástroje: 1 – vrtná tyč, 2 – ovladač vyklápění dna, 3 – vrtný hrnec, 4 – dno vrtného hrnce s výměnnými zuby, 5 – centrátor, 6 – tělo, 7 – závit šneku, 8 – výška závitů, 9 – řezací zuby, 10 – závěs, 11 – rolny, 12 – lopatky, 13 – břit [1]

1.4.2 RAŽENÉ PILOTY

Jedná se o piloty zhotovené způsobem, jenž vede k roztlačení a zhutnění zeminy v místě pilot, místo jejího nahrazení. Ražené piloty lze rozdělit na dvě rozsáhlé skupiny, a to prefabrikované a na místě betonované. Materiálem pro ražené piloty bývá nejčastěji beton, ale mohou být zhotoveny i z oceli, litiny případně i dřeva a jejich kombinací. Zhotovení pilot může probíhat více způsoby, které se mohou lišit v účinnosti a volí se vzhledem ke geologii, materiálu a dalším aspektům. Konkrétně se jedná o beranění, vibrování, šroubování, zatlačování. Tyto postupy lze spolu i kombinovat pro zvýšení účinnosti. V případě ražených pilot je spodní hranice průměru 0,15 m [1]. Příklady ražených pilot jsou uvedeny níže na Obr. 8.



Obr. 8 - Příklady ražených pilot: a – beraněná, na místě betonovaná pilota, b – šroubová, namísto betonovaná pilota, c – prefabrikovaná železobetonová (čtvercová, kruhová) pilota, d – ocelová pilota (kruhová, H – profilu), e – prefabrikovaná železobetonová kónická (kruhová, nebo čtvercová) pilota, f – na místě betonovaná pilota s rozšířenou patou (předrážená, Franki), g – na místě betonovaná s rozšířením paty, h – na místě betonovaná s ponechanou pažnicí a s rozšířením paty, i – pilota s tělesem rozšiřujícím patu v měkké zemině, j – ocelová svařovaná s rozšířením paty [1]

Prefabrikované piloty

Provádí se do hloubky cca 16 m. Jejich průřez může být vzhledem k prefabrikaci naprosto libovolný. Mezi jejich hlavní přednosti lze zařadit rychlost zhotovení, velmi vysoká jakost prefabrikátů, variabilita úhlů, pod kterými jsou prováděny a případně i možnost zarážení při velmi nízkých teplotách. Mohou být vyhotoveny i jako dočasné. Dřevěné piloty jsou v patě otesány do jehlanu a opatřeny kovovou botkou. Je také nutné přepásování ocelí v oblasti dopadu beranu na hlavu piloty. Obvykle se zhotovují z borovice, modřínu, případně dubu (nejúnosnější a nejdražší). Ocelové piloty různých průřezů jsou nejvhodnější do štěrkopískových zemin. Do soudržných zemin lze použít prefabrikované duté železobetonové. V současnosti se v České republice dělají spíše výjimečně (i s ohledem na geologii). V zahraničí však má tato metoda stále své místo [11] [3].

Na místě betonované piloty

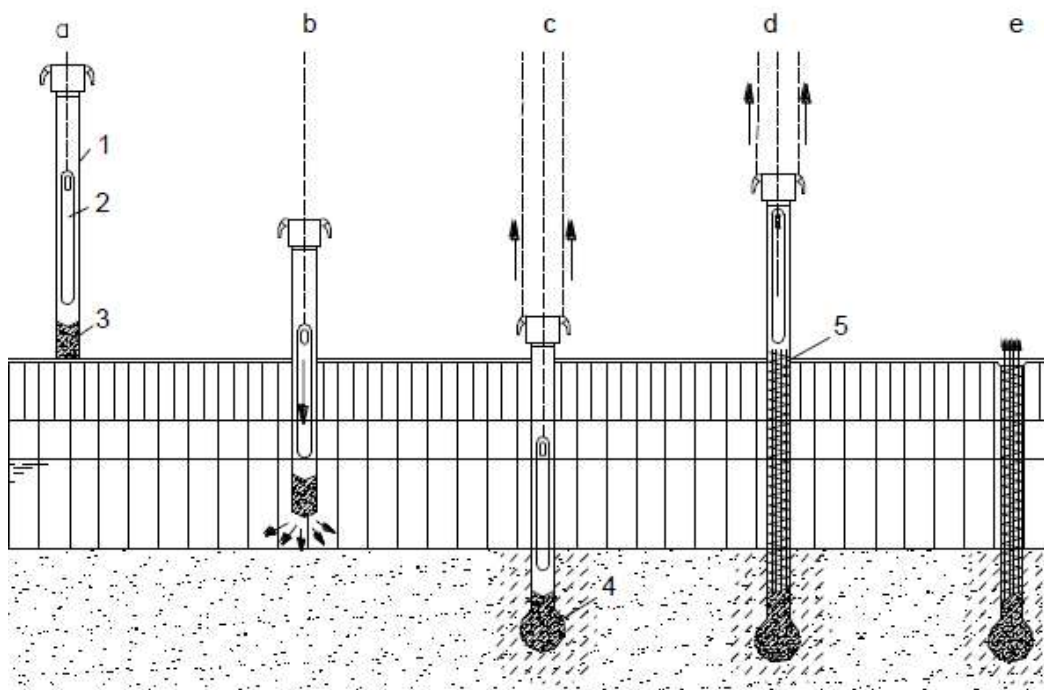
Instalují se beraněním, šroubováním, vibrováním, a to běžně cca do 14 m. Na rozdíl od prefabrikovaných pilot je pro tyto piloty vyražen pouze otvor, obvykle kruhového průřezu, který je následně následně vybetonován a vyztužen. Ražení probíhá pomocí razící roury (pažnice), která může být dočasná, nebo i trvalá. Do této skupiny patří mnoho různých druhů.[1]

Předrážené piloty typu Franki

V geologických podmínkách České republiky se však nejvýznamněji rozšířily pouze předrážené piloty typu Franki. Největší rozmach Franki pilot byl v období druhé světové války, kdy byly hojně používány pro výstavby halových konstrukcí továren. Tato technologie však principiálně pochází již ze 30. let 20. století z Belgie, přesto však v současnosti tvoří 5 - 10 % zhotovovaných pilot (značná část z nich jsou však štěrkové pilíře, které se řadí do zlepšování základové půdy). Současné využívání podporuje i ekonomické hledisko jež vychází v porovnání ceny [kč] a únosnosti [kN] příznivých ve významný prospěch Franki

pilot (až 50 % ceny vrtaných pilot). Pro ražení je v patě pažiny použit štěrk / beton (cca $0,15 \text{ m}^3$), který se při úderech rozepře o vnitřní stěny roury a působí tak jako klenba která tak svými vodorovnými silami (a z nich vzniklého tření) posunuje i pažinu. Používají se silnostěnné pažiny o průměru 408 mm, nebo 512 mm (v zahraničí i větší průměry). Soupravy jsou velmi jednoduché, což je žádoucí vzhledem k vznikajícím dynamickým silám. Lze bezproblémově razit i pod úhlem (až 8:1) [11] [3].

Postup začíná vyplněním paty razící roury přibližně $0,15 \text{ m}^3$ suchého betonu ($v/c \leq 0,3$). Tím je vytvořena zátka, která se zarážecími údery zhutní a rozepře o vnitřní stěny roury. Beran je obvykle ocelový válec o hmotnosti 1,25 - 5,5 t spouštěn volným pádem z výšky potřebné pro vyvolání dostatečné energie, což může být 2 - 4, ale i 6 až hraničně 10 metrů [10]. Během zarážení se sleduje vztah vniknutí pažnice ku počtu úderů. Z tohoto vztahu lze odvodit, podobně jako u dynamických penetračních sond, průběh změn geologie a poskytuje tak pouze určité základní možnosti srovnání oproti předpokladům, které na rozdíl od vrtaných pilot, nejsou zjištělné přímo jiným způsobem, než jádrovým vrtáním. Vhodnější metodou pro odhad únosnosti je pak sledování předané mechanické energie, vypočtené z gravitačního zrychlení, váhy a délky pádu. Nejdůležitější je sledování v posledních cca dvou metrech. Na základě tohoto sledování, s přihlédnutím ke geologii, je možné určit únosnost ražené piloty. Po dosažení projektované hloubky, nebo stanoveného energetického kritéria, následuje zavěšení razící roury na razící věž. Poté se postupně přidává betonová směs a vyráží se zátka a vzniká tak spodní rozšíření (1,5 - 1,8 průměru dříku) dále zvyšující únosnost. Během vyrážení se dbá na stálý přebytek betonu v rouře, aby nedošlo k přerušení piloty. Počínaje tvorbou dříku se osadí armokoš a údery se tak provádí v jeho vnitřním průměru. Dřík lze rovněž zhotovit i méně suchým betonem v případě rizika nedostatečné hydratace kvůli „odsátí vody“ okolní zeminou a armokoš vtlačit. Tehdy však dochází ke snížení výsledného plášťového tření na dříku [11] [3]. Postup zhotovení je zobrazen na Obr. 9.



Obr. 9 - Technologický postup výroby předrážené piloty Franki: a – ražení razicí roury se zátkou, b – ražení piloty skrz neúnosnou zeminu, c – vyrážení zátky, d – formování dřívku vyztužené piloty, e – hotová železobetonová pilota Franki [1]

Výhody a nevýhody ražených pilot

Výhodou může být zvýšená únosnost díky rozšíření v patě. Dále drsný plášť, který při zhutňování cestou k hlavě tlačí na stěny vrtu a zajišťuje tak kvalitní zaplnění vrtu betonem a tím i zvětšení třecí plochy = zvýšení únosnosti. Zhutnění mimořádně silnými nárazy vede ke zvýšení pevnosti výsledného betonu nad rámec své deklarované pevnosti spojené se složením (nárůst až o 150 % a více). Zhutnění má rovněž za následek zvýšenou nepropustnost, a tak i odolnost vůči agresivnímu prostředí. Výsledná cena může být v příznivé geologii dokonce až poloviční vůči vrtaným pilotám [11] [1].

Mezi nevýhody se však řadí nepříznivý dopad velkých dynamických účinků na okolní zástavbu, čímž se použitelnost v zástavbě a intravilánu stává takřka nemyslitelnou. Při tvorbě skupiny ražených pilot se zemina v okolí zhutňuje do míry, která až znemožňuje ražení dalších pilot. Nesoudržné zeminy mohou klamat vysokou únosností díky krátkodobému vzniku pórového přetlaku způsobující mnohem vyšší únosnost. V důsledku této zdánlivé únosnosti

následně může dojít k neočekávaně nižší únosnosti při zatížení a zvýšenému sedání následky primární konsolidace. Tím se stávají soudržné zeminy méně vhodné až nevhodné pro užití ražených pilot. Ražení může být znemožněno i výskytem balvanitých složek, případně poloskalních hornin. Tím se stává pro tyto druhy geologie rovněž nepoužitelným. Je výhodné použití pro velké osově zatížení (tah, tlak), ale méně pro vodorovné síly a spíše méně vhodné pro ohybové momenty (skrze ohybovou tuhost dříku) [1].

1.5 NÁVRH PILOTOVÝCH ZÁKLADŮ

Návrh probíhá dle normy ČSN EN 1997-1 [22] Navrhování geotechnických konstrukcí. Hodnoty zatížení pozemních a inženýrských staveb se řídí dle ČSN EN 1991 [21] a přicházejí v úvahu při návrhu různých typů konstrukcí. Zatížení, které vyvolává základová půda, jako jsou zemní tlaky se však musí vypočítat na základě pravidel ČSN EN 1997 [22]. Norma je dále doplněna ČSN EN 1997-2 [23], která stanovuje požadavky na vyhodnocení terénních a laboratorních zkoušek. Únosnost je posuzována jak z hlediska pevnostního (1. mezní stav), tak i deformačního (2. mezní stav). Stanovuje se pro různé druhy namáhání (osový tlak, osový tah, vodorovné síly v různých směrech, ohybové momenty) a pro každou návrhovou situaci [12].

1.5.1 METODY NÁVRHU

Mezní stavy nastávají buď v základové půdě nebo v konstrukci, případně k nim může dojít kombinovaným porušením konstrukce a základové půdy [12]. Stěžejní je pro nás nejčastěji svislá osová únosnost pilot, která lze stanovit zkouškami, nebo výpočtem.

Za přijatelné norma považuje následující postupy:

- a) Návrh dle výsledků statické zatěžovací zkoušky na zkušebních/modelových pilotách.
- b) Návrh dle výsledků dynamické zatěžovací zkoušky, jejichž platnost byla prokázána statickými zatěžovacími zkouškami ve srovnatelných podmínkách

c) Návrh dle empirických a analytických výpočtových metod vycházejících z pevnostních a deformačních parametrů půdy, materiálů piloty a technologie provádění. Platnost tohoto návrhu musí být prokázána statickou zatěžovací zkouškou ve srovnatelných podmínkách.

d) Návrh na základě pozorovaného chování srovnatelného pilotového základu prokazujícího, že tento přístup je podpořen výsledky průzkumu staveniště [1]

Statické zatěžovací zkoušky

Zkouška umožňuje zjistit reálné chování při zatěžování. Jedná se o základní metodu k vyjádření chování piloty, kdy se vyjadřuje vzájemný poměr svislé deformace – sedání v závislosti na síle. Výstupem je tak pracovní diagram piloty. Vyjadřují nám tak kombinaci vlivů technologie, geometrie a mechanických vlastností půdy. Zjištěné informace tak mají široké využití. Lze na ně například ladit matematické modely (při použití MKP rotačně symetrické úlohy) pro stanovené parametrů zemin, jenž lze dále využít pro návrh obdobných konstrukcí ve srovnatelné geologii.

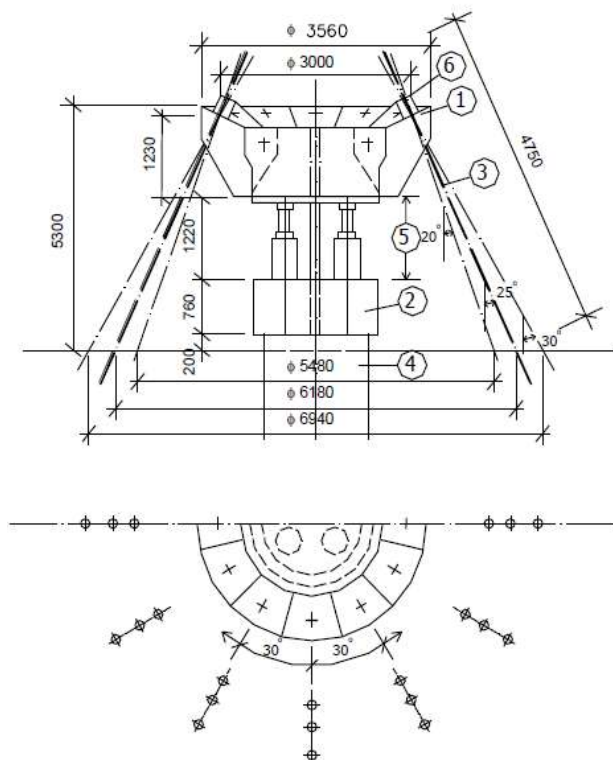
Zatěžovací zkouška může být se stupňovitým zatížením, nebo s konstantní rychlostí zatlačování. Probíhá přitížením v hlavě piloty pomocí zatěžovacích mostů (viz Obr. 10) a hydraulických lisů (viz Obr. 11). Ty mohou být pro vyvolání účinku přitěžovány kotvením nebo zatížením. Jako kotvení mohou být použity tahové piloty, případně zemní kotvy, viz Obr. 12.



Obr. 10 - Zatěžovací most [11]



Obr. 11 - Hydraulický lis [11]



Obr. 12 - Schéma zkušebního mostu typu „hříbek“ pro zatížení do 22 MN: 1 – ocelový zkušební most, 2 – roznášecí deska na hlavě piloty, 3 – kotvy, 4 – zkušební pilota, 5 – hydraulické lisy, 6 – ukotvení táhel kotev [1]

K dokonalému popisu chování vrtané piloty pod svislým zatížením je třeba znát kromě pracovního diagramu, tedy závislosti mezi zatížením a deformací hlavy piloty, též průběh svislé síly v dřívku piloty v jeho délce. Zatímco první vztah lze určit jednoznačně, druhý vztah už je poněkud problematický. Většinou se využívá tenzometrického měření, kdy jsou jednotlivé strunové tenzometry připevněny na armokoši a další tenzometrická tělíska tzv. load cells v betonovém dřívku. Tato měření tak umožňují stanovení přenosových funkcí (soustavu křivek vyjadřující různé průběhy zatížení po délce piloty). Analýza únosnosti pomocí přenosových funkcí je nejdokonalejší metodou zjišťování interakce piloty se základovou půdou. V praxi je však kritický problém změřit průběh napětí s dostatečnou přesností, aby její aplikace měla skutečný význam. Nicméně i tak je tato metoda velmi užitečná, neboť zcela zřetelně vysvětluje problém interakce [13].

1.5.2 VÝPOČET DLE PRVNÍHO MEZNÍHO STAVU

U základových konstrukcí může nastat celkem 5 mezních stavů porušení:

(EQU) – ztráta rovnováhy konstrukce

(STR) – vnitřní porušení či nadměrná deformace konstrukce

(GEO) – porušení či nadměrná deformace základové půdy

(UPL) – ztráta rovnováhy konstrukce nebo základové půdy vlivem vztlaku vody

(HYD) – nadzdvížení dna, vnitřní eroze a sufoze základové půdy

Nejčastějšími případy jsou porušení konstrukce (STR) a porušení základové půdy (GEO) [1].

Při návrhu se uplatňují tři návrhové přístupy (NP1; NP2; NP3). Jejich použití se liší v závislosti na geologických poměrech a posuzované konstrukci. Podstatou návrhových přístupů je vždy použití specifické sady bezpečnostních součinitelů vytvářejících návrhové hodnoty. Jedná se o sadu součinitelů parametrů základové půdy (M1; M2), sadu součinitelů zatížení (A1; A2) a sadu součinitelů únosnosti (R1; R2; R3; R4) (viz Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5). Pro návrh pilot se v České republice používá NP2 (A1+M1+R2). Základním vztahem je:

$$U_{vd} = U_{bd} + U_{fd} \geq V_d$$

Kde:

U_{vd} je výsledná, celková svislá únosnost,

U_{bd} návrhová únosnost v patě,

U_{fd} návrhová únosnost třením na plášti

V_d návrhová síla

[1]

Zatížení		Značka	Soubor	
			A1	A2
Stálé	Nepříznivé	γ_G	1,35	1,00
	Příznivé		1,00	1,00
Proměnné	Nepříznivé	γ_Q	1,50	1,30
	Příznivé		0,00	0,00

Tab. 3 - Součinitelé zatížení γ_f a účinku zatížení γ_e [1]

Parametr zeminy	Značka	Soubor	
		M1	M2
Úhel vnitřního tření (použit pro $\tan \varphi$)	γ_{φ}	1,00	1,25
Efektivní soudržnost	γ_c	1,00	1,25
Neodvodněná smyková pevnost	γ_{cu}	1,00	1,40
Pevnost v prostém tlaku	γ_{qu}	1,00	1,40
Objemová tíha	γ_v	1,00	1,00

Tab. 4 - Součinitelé parametrů základové půdy γ_M [1]

Únosnost	Značka	Soubor			
		R1	R2	R3	R4
Pata	γ_b	1,25	1,10	1,00	1,60
Plášť	γ_s	1,00	1,10	1,00	1,30
Celková/kombinovaná (tlak)	γ_t	1,15	1,10	1,00	1,50
Plášť v tahu	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,15	1,00	1,60

Tab. 5 - Součinitelé únosnosti γ_m [1]

Statický výpočet únosnosti vrtaných pilot je nejužívanější, a tedy i základní metodou stanovení jejich únosnosti. Štěpánek (1977) sestavil některé nejvíce užívané statické vzorce do tabulky a spočítal podle nich únosnost dvou pilot profilu 900 mm, délky 10,4 a 18,6 m procházejících vrstevnatou zeminou vesměs nesoudržnou. Výsledky porovnal se statickými zatěžovacími zkouškami provedených H. Weinholdem (1962) v Hamburku. Výsledky se podle různých vzorců liší i více než o 100 %. Hlavní příčinou tohoto neuspokojivého stavu je ta skutečnost, že se sčítá jistá mezní únosnost paty piloty a mezní plášťové tření, přičemž se vůbec nepřihlíží k tomu, že těchto hodnot se dosáhne při různé deformaci (lišící se až násobně). [13]

1.5.3 VÝPOČET DLE DRUHÉHO MEZNÍHO STAVU

V druhém mezním stavu se řeší závislost mezi zatížením a sedáním.

Rozlišujeme dva základní vztahy pro výpočet pilot dle druhého mezního stavu, a to pro opřené piloty a plovoucí piloty.

Opřené piloty:

$$U_{vd} = 0,8 \cdot A_s \cdot R_{bd}$$

Kde A_s je plocha paty

R_{bd} pevnost betonu v tlaku

Plovoucí piloty:

$$U_{vd} = 0,7 \cdot \pi \cdot \sum d \cdot h \cdot q_{si}$$

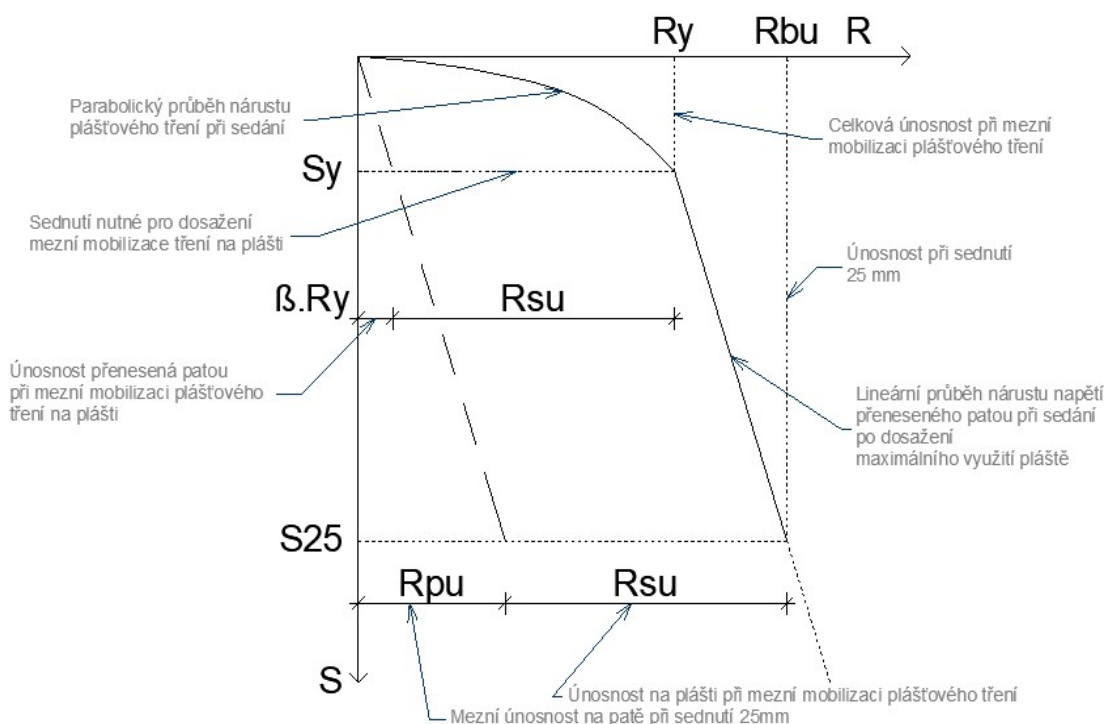
Kde d je průměr dříku piloty v příslušné vrstvě

h délka piloty v příslušné vrstvě

q_{si} míra tření na plášti

Míra únosnosti plášťovým třením a únosnosti na patě se řídí výpočtem s regresními koeficienty „a“ a „b“ pro plášť, „e“ a „f“ pro patu, které se volí dle vlastností daných vrstev. Pro poloskalní horniny se koeficienty určují dle třídy horniny, pro hrubozrnné zeminy dle indexu ulehlosti a pro jemnozrnné zeminy dle stupně konzistence. Tyto koeficienty byly stanoveny na základě statistického rozboru velkého souboru zatěžovacích zkoušek doc. Ing. Janem Masopustem CSc. Dalšími tabulkovými parametry jsou sečnové moduly deformace E_s . Ty jsou voleny v závislosti na mocnosti vrstvy, průměru piloty v dané vrstvě a indexech (třídě) zemin (hornin). V tabulkách s regresními koeficienty a sečnovými moduly je povolena interpolace. Během výpočtu je rovněž potřeba vyčíst z grafu základní příčinkový koeficient a korekční součinitel. Výsledkem je poté mezní zatěžovací křivka piloty, která je blíže popsána na Obr. 13. Ta se skládá ze dvou částí, paraboly druhého stupně vyjadřující postupnou mobilizaci plášťového tření a lineární části vyjadřující nárůst únosnosti na patě. Bodem změny charakteru křivky je bod $[R_y; s_y]$ tedy únosnost při mezní mobilizaci plášťového

tření a příslušné sedání. Jako hraniční bod únosnosti je stanovena únosnost při sednutí 25 mm. Nad tuto deformaci je možné pokračovat na potencionální vyšší únosnost, nicméně metoda výpočtu zde již ztrácí na přesnosti [1] [3] [13].



Obr. 13 - Mezní zatěžovací křivka [3]

Mezní velikost přetvoření

Při návrhu základových konstrukcí se musí stanovit mezní hodnoty deformací základů a musí se prokázat, že navržená konstrukce tak vyhovuje z hlediska 2. mezního stavu. To je důležité jak pro hodnoty celkového průměrného sedání, tak pro sedání nerovnoměrné, které je dáno relativním průhybem, úhlovým přetvořením i nakloněním základu. Dále přichází v úvahu také deformace zvednutím, vibracemi, anebo vodorovný posun. Mezní hodnoty sedání stanoví investor, případně je vhodné se řídit doporučeními odvíjejícími se od druhu konstrukce, základové půdy, využití a zajištění bezpečnosti inženýrských sítí. Vždy musí být sjednány předem a odsouhlaseny projektantem nadzákladové konstrukce [1].

2 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části bylo řešeno hlubinné založení ve flyšové geologii v dané lokalitě. V návaznosti na zjištěné různé mocnosti jednotlivých vrstev byl vytvořen nejkritičtější souhrnný model (tedy nejméně únosné zeminy v nejvyšší zjištěné četnosti). Hladina podzemní vody byla volena individuálně (v intervalu měření) na bezpečnou stranu.

Předpokládané zatížení na piloty, stejně jako vnitřní síly v základových pasech, bylo převzato v rámci projektu statiky horní stavby. Přetížení od okolní zástavby a komunikací se do návrhu nepromítne z důvodu dostatečných vzdáleností od budovy.

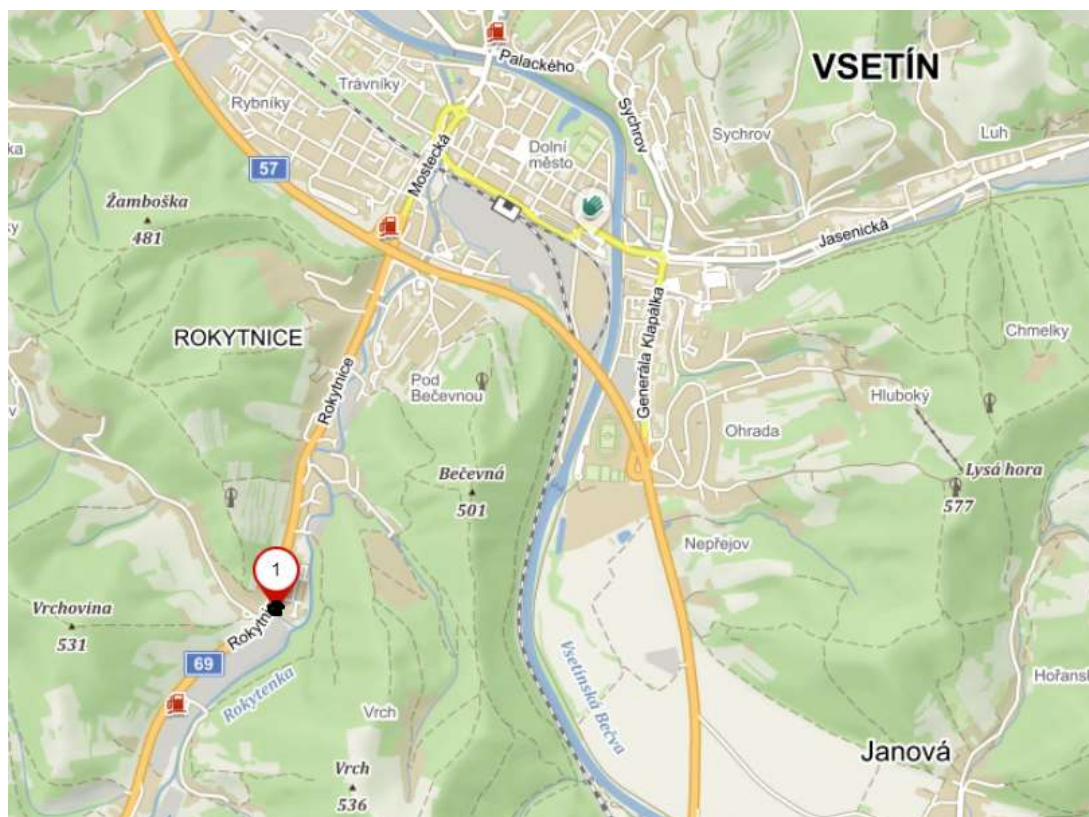
Rozměry pilot byly během postupného návrhu voleny z více možností tak, aby byl nakonec v rámci celého projektu použit pouze jeden průměr s proměnlivou délkou v závislosti na požadované únosnosti v daném místě. Rozměry tak umožňují použití jednoho vrtného stroje bez nutnosti změn vrtného průměru, který by práci prodlužoval a současně tak minimalizují prostor pro chyby bez omezení variability. Hlavní nosnou konstrukci horní stavby tvoří keramické pálené tvarovky, železobetonové stěny a železobetonové sloupy.

2.1 OBJEKT BYTOVÉHO DOMU A JEHO POLOHA

Objekt se nachází na východní Moravě v Rokytnici – jihozápadní části města Vsetín. Objekt bytového domu A2 je součástí souboru výstavby bytových domů oblasti. Jedná se o bytový dům se čtyřmi nadzemními podlažími. Nosným systémem je soustava stěn z keramických tvarovek a železobetonových prvků (výťahové stěny, průvlaky, stropy...) [5]. Nachází se na parcele č. 1750 v katastrálním území Rokytnice u Vsetína viz Obr. 14 [15] a Obr. 15. V místě stavby objektu A2 se dříve nenacházela zástavba.



Obr. 14 - Mapa katastru nemovitostí [15]



Obr. 15 - Mapa zájmové oblasti [18]

2.2 GEOLOGICKÉ POMĚRY V ŘEŠENÉM ÚZEMÍ

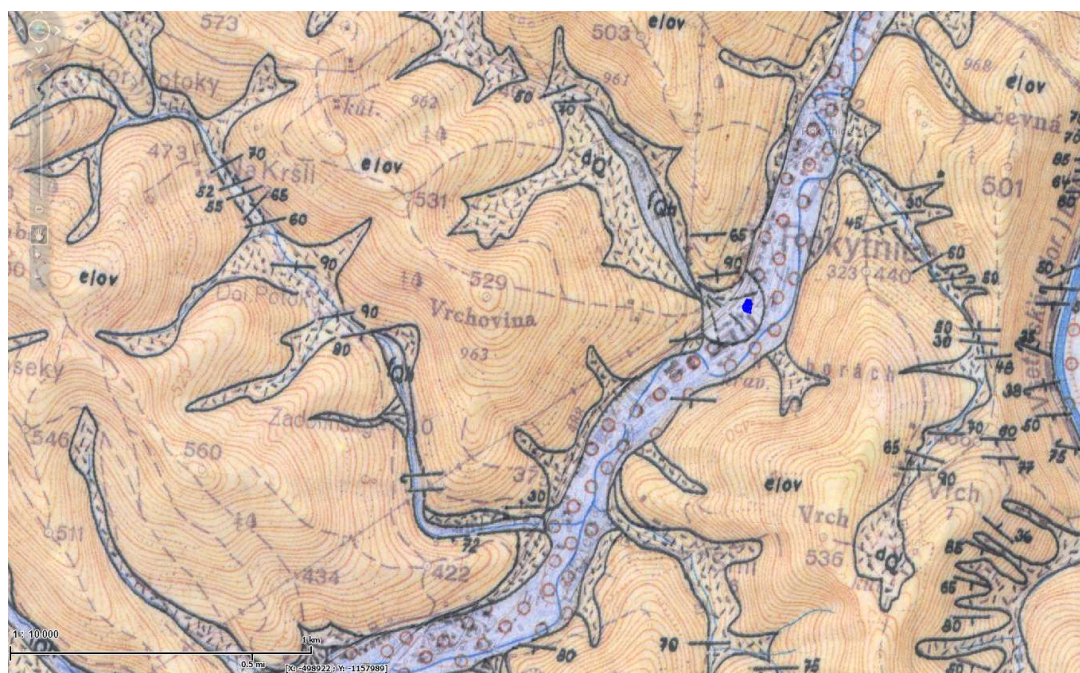
Zájmovým územím je severní okraj Vizovické Vrchoviny. Staveniště navržených objektů se nachází na údolním dně Rokytenky, která je levostranným přítokem Vsetínské Bečvy. Jižní okraj staveniště zasahuje k bezejmenné místní vodoteči, levostrannému přítoku Rokytenky. Povrch terénu údolního dna je mírně ukloněný k severovýchodu, ke korytu Rokytenky a nachází se na úrovni kóty 361,8 až 363,2 m n.m. Koryto Rokytenky je zahloubeno u paty pravého údolního svahu, východně od stávajících bytových domů. [4].

Lokalita leží ve flyšovém pásmu typickém zejména pro vnější okraj Západních Karpat. Oblast je charakteristická střídáním jílovců, pískovců, nebo případně jílu a písků v různých mocnostech. Tento předpoklad nám ostatně dále potvrzuje geologický profil zjištěný kopanými sondami a dynamickými penetračními sondami v dané lokalitě. Geologie spolu s geotechnickými parametry (viz 2.3) byly určena dle inženýrskogeologického průzkumu, objednaného firmou Kaskády s.r.o. a vyhotoveného firmou Centroprojekt a. s. Ten se konkrétněji skládá z kopaných sond K-1, K-2, K-3, K-6 a těžkých dynamických penetrací DPH-2 a DPH-3 rozmístěných dle situace průzkumu na Obr. 16.



vrstva je tvořena šterky s příměsí jemnozrnných zemin, až šterkovitým jílem. Spodní dvě vrstvy jsou tvořeny jílovci, siltovci, případně pískovci. Před začátkem pevných jílovců je ovšem erodovaná vrstva nejisté mocnosti a různé míry zvětrání. Hladina podzemní vody odpovídá hloubkám nejméně 2,2 m od původního terénu a značí tak značnou zvodnělost vrstvy šterků s příměsí jemnozrnných zemin. Toto zjištění však bylo poměrně očekávané, vzhledem k tomu, že se lokalita nachází v nížině u vodního toku. Podzemní voda byla testována a bylo zjištěno slabě agresivní chemické prostředí z důvodu vyššího obsahu CO_2 ($22,7 \text{ mg/l} > 15 \text{ mg/l}$). Tato skutečnost je dále zohledněna při volbě betonové směsi [4][6][7].

Výsledky průzkumu korespondují s geologickou mapou České geologické služby. Modře vyznačený bod na mapě (Obr. 17) značí řešenou lokalitu..

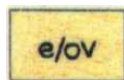


Obr. 17 - Výřez z mapového listu 25-322, (z aplikace České geologické služby) [17]

Legenda:



Fluviální
šterkopískové
sedimenty



Magurská flyšová skupina –
Vsetínské vrstvy, vápnitý flyš s
glaukonitickými pískovci



Geomorfologie

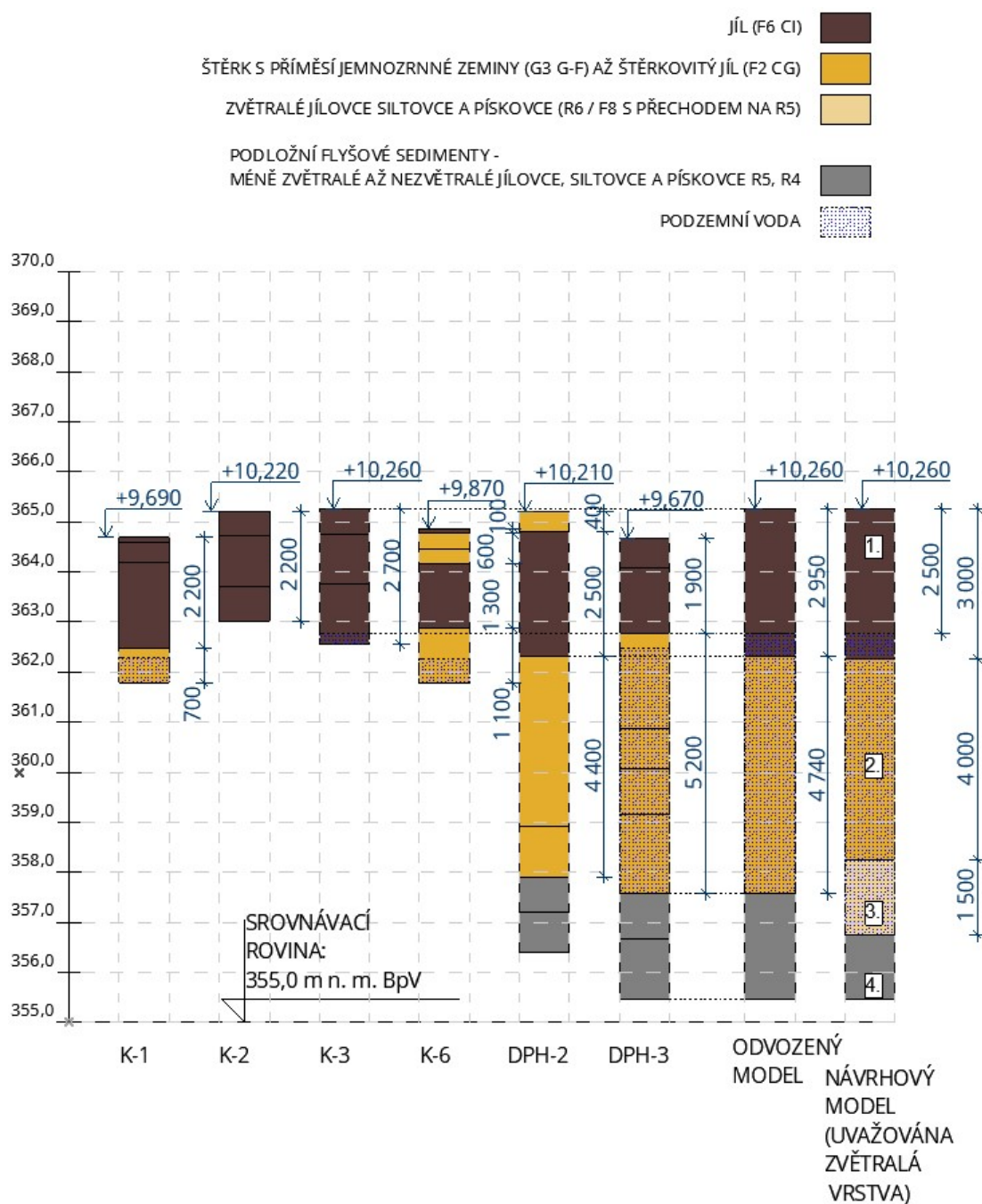
Deluviální
kamenitohlinité až
hlinitokamenité suti

Zatříděním do geomorfologických jednotek České republiky (ČÚZK, 1996) řešená lokalita spadá do provincie Západních Karpat, subprovincie Vnější Západní Karpaty, oblast Slovensko-moravské Karpaty a celek - Vizovická vrchovina.

2.3 GEOTECHNICKÉ POMĚRY V ŘEŠENÉM ÚZEMÍ

S ohledem na výstupy inženýrskogeologického průzkumu byl postupným seřazením všech sondovacích prací odvozen maximálně nepříznivý návrhový geologický profil. U sestavování modelu byly brány v potaz vlastnosti materiálu a neúnosné vrstvy byly maximalizovány na úkor únosných při současném respektování naměřených geometrických údajů. Hladina podzemní vody byla brána maximální naměřená. Veškeré následné návrhy byly provedeny jak pro odvodněné, tak i pro neodvodněné podmínky. Sestavený návrhový profil geologie viz Obr. 18. Vrstva číslo 1 ve výpočtech byla záměrně nezapočítána (případně extrémně podhodnocena) kvůli svým výjimečně špatným vlastnostem. Při použití programu GEO5, který shodou okolností neumožňuje nezapočítání vrstvy byly vlastnosti nastaveny na limitní minimum. Dle geotechnické zprávy bylo doporučeno nezavádět parametry únosnosti nejspodnějších kvalitních jílovců, siltovců či pískovců do výpočtu skrze nepravidelný výskyt této kvality, kterou může střídát značně erodovaný stav této horniny (R6 / F8CH). Namísto naprostého ignorování této značně únosné vrstvy byla po konzultaci s vedoucí bakalářské práce zvolena cesta zavedení erodované vrstvy s mocností zajišťující bezpečnou stranu návrhu. Návrh erodované vrstvy se opírá o výsledky geotechnické zprávy, která tuto vrstvu charakterizovala jako jílovité eluvium charakteru vysoce plastického jílu. Mimo to se opírá rovněž o průběh dynamických penetračních zkoušek, ve kterých je zřetelný mírný nárůst v erodované vrstvě a následně plný nástup únosné poloskalní čtvrté vrstvy o vlastnostech R5 až R4. Pro bližší návrh parametrů silně zvětralých jílovců bylo rovněž přihlédnuto k doporučení Vrtka (1998), odkazujícího se na Hulmanův

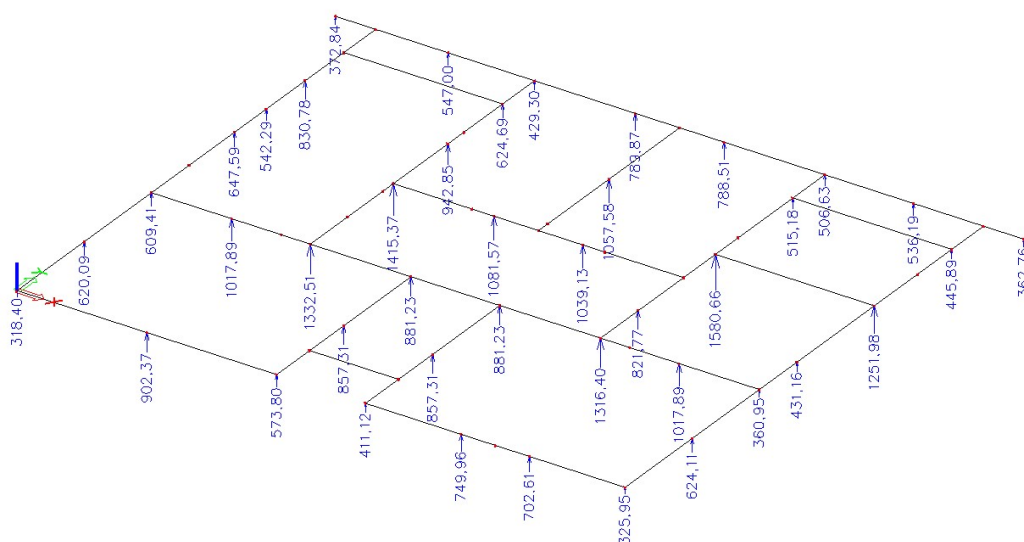
klasifikační systém, jenž uvádí pro silně zvětralé jílovce parametry $\varphi'=21^\circ$ a $c'=0,5\text{MPa}$ [8]. Tyto hodnoty byly následně součiniteli sníženy a po dalších konzultacích s vedoucí bakalářské práce dále upraveny na bezpečnou stranu.



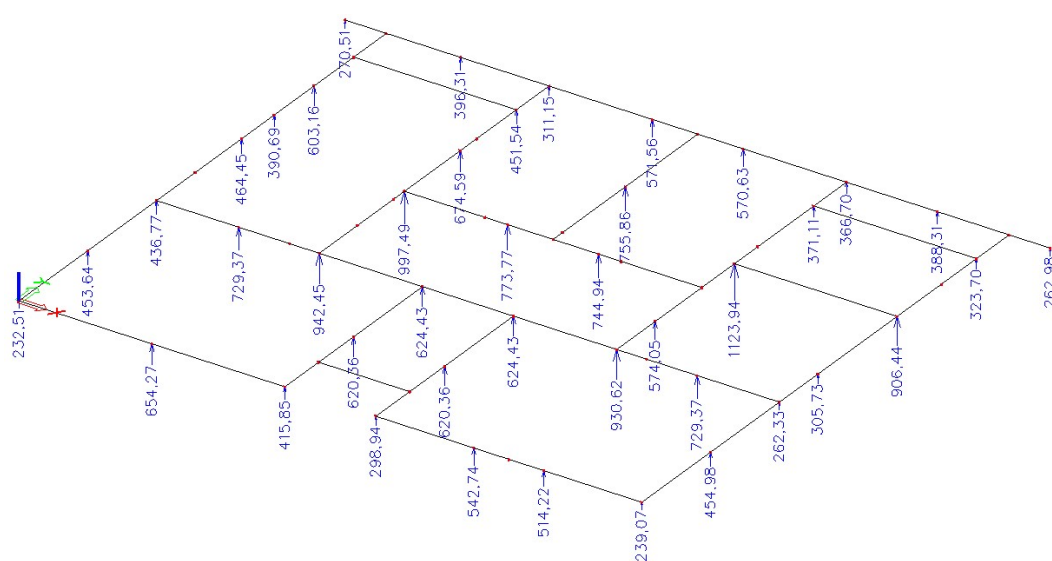
Obr. 18 - Postupné odvození a konstrukce finálního návrhového modelu geologie

2.4 ZATÍŽENÍ

Základové pasy byly řešeny jako vetknuté do pilot. Vnitřní síly v základových pasech byly převzaty z prutového modelu, přičemž jednotlivé piloty představují tuhé podpory. Role podpor je přenesena jako zatížení vyvozené na piloty viz Obr. 19 a Obr. 20. Výsledné rozdělení sil dle velikosti, při zachování ekonomické stránky, vedlo na tři seskupení, pro které byl proveden návrh. Od nejzatíženějších pilot P1 po nejméně zatížené P3. Výpočet pilot P1 je dále podrobněji rozveden. Piloty P2 a P3 viz příloha.



Obr. 19 - Reakce pilot - návrhová kombinace



Obr. 20 - Reakce pilot - charakteristická kombinace

2.5 STATICKÝ POSUDEK PILOT

Posouzení bylo provedeno na první i druhý mezní stav, a to jak pro odvodněné, tak i neodvodněné podmínky. Pro srovnání a potvrzení správnosti byl výpočet proveden ve známém a široce rozšířeném programu GEO5 a dále manuálním sestavením řešení v programu Smath. Program Smath funguje na principu stanovení parametrů s hodnotami a jejich následném libovolném kombinování pro dosažení přehledného a automatizovaného statického výpočtu. Výpočet je usměrňován zcela manuálně a program tak pouze zaručuje číselnou správnost a snadnou zpětnou kontrolu – úpravu parametrů. Na závěr jsou porovnány výsledky a okomentovány odchylky.

1. *Mezní stav*

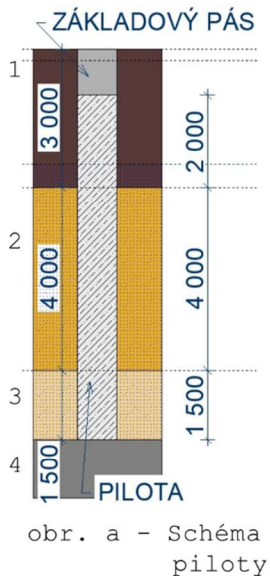
Posouzení probíhá dle normy ČSN EN 1997-1 [22]. Navrhování geotechnických konstrukcí. Zatížení se řídí pravidly ČSN EN 1997 [22] [23] a uvažuje návrhový přístup 2. Norma je dále doplněna ČSN EN 1997-2 [23], Únosnost je posuzována na odvodněné i neodvodněné podmínky. Pro posouzení neodvodněných podmínek a možnost srovnání s programem GEO5 se nabízely dva postupy a to dle Tomlinsona vycházejícího z publikace „M.J. Tomlinson: Pile Design and Construction Practice“, nebo druhá možnost postup dle NAVFAC DM 7.2 dle publikace „NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S. Department of the Navy, 1984“. Po konzultaci s vedoucí bakalářské práce byla zvolena, s ohledem na komplikované geologické podmínky, metoda NAVFAC DM 7.2 umožňující lépe zohlednit únosnost štěrkovitého jílu, než metoda dle Tomlinsona, která je vhodná spíše pro soudržné jemnozrnné zeminy.

2. *Mezní stav*

Posouzení druhého mezního stavu bylo provedeno na základě nelineární zatěžovací křivky dle doc. Masopusta [1] vycházející z regresních koeficientů, sečnových modulů a dalších součinitelů umožňující lépe vystihnout geometrické a technologické vlastnosti.

2.5.1 MANUÁLNÍ POSOUZENÍ V PROGRAMU SMATH

Dále je uveden výpočet nejzatíženější piloty P1 v programu Smath. Výpočet pro piloty P2 a P3 je proveden v příloze č.2.



*Saturované
objemové tíhy
neznáme

1. Mezní stav - P1

Vstupní parametry

Parametry zemin

Zemina 1 (F6 CI)

$$\gamma_{s,1} := 20 \quad \text{kN/m}^3$$

$$c_{ef,1} := 0 \quad \text{kPa}$$

$$c_{u,1} := 0 \quad \text{kPa}$$

$$\varphi_{ef,1} := 0 \quad ^\circ$$

$$\varphi_{u,1} := 0 \quad ^\circ$$

$$E_{def,1} := 2 \quad \text{MPa}$$

$$\nu_1 := 0,4 \quad -$$

$$h_1 := 2 \quad \text{m}$$

Zemina 2 (G3 G-F/F2 CG)

$$\gamma_{s,2} := 19 \quad \text{kN/m}^3$$

$$c_{ef,2} := 0 \quad \text{kPa}$$

$$c_{u,2} := 0 \quad \text{kPa}$$

$$\varphi_{ef,2} := 35 \quad ^\circ$$

$$\varphi_{u,2} := 0 \quad ^\circ$$

$$E_{def,2} := 30 \quad \text{MPa}$$

$$\nu_2 := 0,3 \quad -$$

$$h_2 := 4 \quad \text{m}$$

Zemina 3 (R6 /F8 CH)

$$\gamma_{s,3} := 21 \quad \text{kN/m}^3$$

$$c_{ef,3} := 100 \quad \text{kPa}$$

$$\varphi_{ef,3} := 26 \quad ^\circ$$

$$\varphi_{u,3} := 0 \quad ^\circ$$

$$E_{def,3} := 10 \quad \text{MPa}$$

$$\nu_3 := 0,35 \quad -$$

$$h_3 := 1,5 \quad \text{m}$$

Zemina 4 (R5/R4)

$$\gamma_{s,4} := 20 \quad \text{kN/m}^3$$

$$c_{ef,4} := 425 \quad \text{kPa}$$

$$\varphi_{ef,4} := 18,9 \quad ^\circ$$

$$E_{oed,4} := 16 \quad \text{MPa}$$

$$\nu_4 := 0,4 \quad -$$

$$h_4 := 0 \quad \text{m}$$

Pro získání návrhových hodnot z hodnot charakteristických jsou voleny sady součinitelů spolehlivosti dle návrhového přístupu 2. Tento přístup volí sady součinitelů "A1", "M1", "R2", které jsou dále v tabulkách vyznačeny tučně, viz Tab 3, Tab 4, Tab 5 (1.5.2)

$$L := 7,5 \quad \text{m} \quad \dots \text{délka piloty}$$

$$d := 0,88 \quad \text{m} \quad \dots \text{průměr piloty}$$

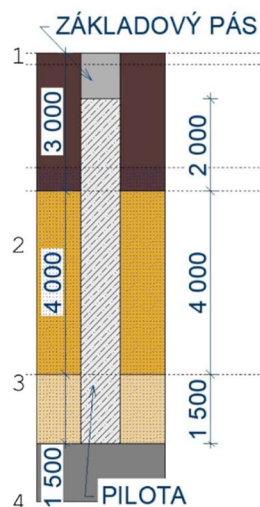
$$h_v := 1 \quad \text{m} \quad \dots \text{vzdálenost hlavy od PT (↓+)}$$

$$h_{pv} := 2,5 \quad \text{m} \quad \dots \text{hladina podzemní vody od PT (↓+)}$$

$$L_{sat} := (L + h_v) - h_{pv} = 6 \quad \text{m} \quad \dots \text{nadlehčená délka}$$

$$\gamma_u := 10 \text{ kN/m}^3 \quad \dots \text{objemová tíha vody}$$

$$A_s := \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,608 \text{ m}^2$$



obr. a - Schéma piloty

*úprava pro výpočet v radiánech

$$* \gamma_{RI} := 1,1$$

Návrhová únosnost na patě

Součinitel zvýšení únosnosti vlivem délky

$$k_1 := 1,0 \quad \dots 1,0 \text{ pro } L < 2 \text{ m} \quad \text{součinitel zvolen na bezpečnou stranu (koresponduje s Geo5)}$$

$$\dots 1,1 \text{ pro } 2 < L \leq 4 \text{ m}$$

$$\dots 1,1 \text{ pro } 4 < L \leq 6 \text{ m}$$

$$\dots 1,15 \text{ pro } L \geq 6 \text{ m}$$

Návrhová únosnost paty vztažená k zemině v patě

Součinitele M jsou rovny 1, $\varphi, k = \varphi, d$

$$\varphi_{d,deg} := \varphi_{ef,4} = 18,9^\circ \quad c_d := c_{ef,4} = 425 \text{ kPa}$$

$$\varphi_d := \frac{\varphi_{d,deg}}{180} \cdot \pi = 0,33 \text{ rad}$$

$$N_d := e^{\left(\pi \cdot \tan(\varphi_d) \right)} \cdot \left(\tan \left(\left(45 + \frac{\varphi_{d,deg}}{2} \right) \cdot \frac{\pi}{180} \right) \right)^2 = 5,741$$

$$N_c := (N_d - 1) \cdot \cot(\varphi_d) = 13,847 \quad \dots \text{pro } \varphi \neq 0$$

$$= 2 + \pi \quad \dots \text{pro } \varphi = 0$$

$$N_b := 1,5 \cdot (N_d - 1) \cdot \tan(\varphi_d) = 2,435$$

$$\gamma_1 := \frac{\gamma_{s,1} \cdot h_1 + \gamma_{s,2} \cdot h_2 + \gamma_{s,3} \cdot h_3 - L_{sat} \cdot \gamma_u}{h_1 + h_2 + h_3} = 11,667 \text{ kN}$$

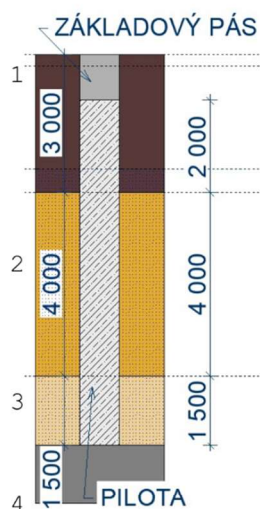
$$\gamma_2 := \gamma_{s,4} - \gamma_u = 10 \text{ kN}$$

$$R_b := 1,2 \cdot c_d \cdot N_c + \left(1 + \sin(\varphi_d) \right) \cdot \gamma_1 \cdot L \cdot N_d + 0,7 \cdot \gamma_2 \cdot \frac{d}{2} \cdot N_b$$

$$R_b = 7734,776 \text{ kN} \quad R_{b,d} := \frac{R_b}{\gamma_{RI}} = 7031,614 \text{ kN}$$

Únosnost na patě

$$U_{bd} := k_1 \cdot A_s \cdot R_{b,d} = 4276,714 \quad [\text{kN}]$$



obr. a - Schéma piloty

Návrhová únosnost na plášti

Součinitele γ_{r1} vyjadřující vliv technologie provádění a γ_{r2} vyjadřující podmínky působení základové půdy dle Sedleckého (1985)

$\gamma_{r,1a} := 1,0$...suchý nezapažený vrt

$\gamma_{r,1b} := 1,1$...suchý nezapažený vrt v nesoudržných/poloskalních h.

$\gamma_{r,1c} := 1,2$...pažení pažnicí pod hladinou p.v.

$\gamma_{r,1d} := 1,25$...pažení pažící suspenzí

$\gamma_{r,1e} := 1,5$...pažení folií (tl. 0,25mm)

$\gamma_{r,1f} := 1,6$...pažení folií při d větší jak 2m

$\gamma_{r2a} := 1,3$... $z/2 \leq 1,0$ m

$\gamma_{r2b} := 1,2$... $1,0$ m < $z/2 \leq 2,0$ m

$\gamma_{r2c} := 1,1$... $2,0$ m < $z/2 \leq 3,0$ m

$\gamma_{r2d} := 1,0$... $z > 3,0$ m

Geostatické napětí

Vrstva 1 ($z = -2,5$ m)

$$\sigma_{or1} := \frac{h_{pv}}{2} \cdot \gamma_{s,1} = 25 \text{ kPa}$$

Vrstva 1' ($z = -3,0$ m)

$$\sigma_{or1'} := h_{pv} \cdot \gamma_{s,1} + \left(\frac{h_1 + h_v - h_{pv}}{2} \right) \cdot (\gamma_{s,1} - 10) = 52,5 \text{ kPa}$$

Vrstva 2 ($z = -5,0$ m)

$$\sigma_{or2} := h_{pv} \cdot \gamma_{s,1} + (h_1 + h_v - h_{pv}) \cdot (\gamma_{s,1} - 10) + \frac{h_2}{2} \cdot (\gamma_{s,2} - 10)$$

$$\sigma_{or2} = 73 \text{ kPa}$$

Vrstva 3 ($z = 7,75$ m)

$$\sigma_{or3} := h_{pv} \cdot \gamma_{s,1} + (h_1 + h_v - h_{pv}) \cdot (\gamma_{s,1} - 10) + h_2 \cdot (\gamma_{s,2} - 10) + \frac{h_3}{2} \cdot (\gamma_{s,3})$$

$$\sigma_{or3} = 106,75 \text{ kPa}$$

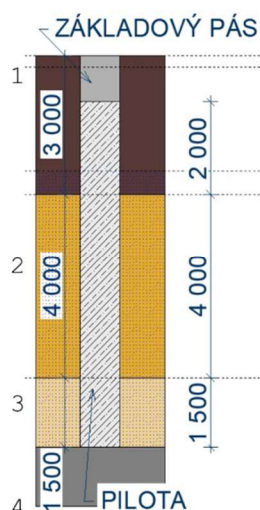
$\gamma_{s,3}$ uvažujeme jako poloskalní horninu

$$k_2 := 1,0$$

$$\dots z \leq 10,0 \text{ m}$$

$$k_2 = 1,2$$

$$\dots z > 10,0 \text{ m}$$



obr. a - Schéma piloty

$$*Y_{R1} := 1,1$$

Kontaktní napětí

Vrstva 1 (z = -2,5 m)

Vrstva 2 (z = -5,0 m)

$$\sigma_{x1} := k_2 \cdot \sigma_{or1} = 25 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{x2} := k_2 \cdot \sigma_{or2} = 73 \text{ kPa}$$

Vrstva 1' (z = -3,0 m)

Vrstva 3 (z = 7,75 m)

$$\sigma_{x1'} := k_2 \cdot \sigma_{or1'} = 52,5 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{x3} := k_2 \cdot \sigma_{or3} = 106,75 \text{ kPa}$$

Odvozněné podmínky - únosnost na plášti

Tření na plášti v jednotlivých vrstvách

Vrstva 1 (z = -2,5 m)

$$f_{s1d} := \sigma_{x1} \cdot \tan \left(\left(\frac{\varphi_{u,1}}{\gamma_{r,1c}} \right) \cdot \frac{\pi}{180} \right) + \frac{c_{u,1}}{\gamma_{r2b}} = 0 \text{ kPa}$$

Vrstva 1' (z = -3,0 m)

$$f_{s1'd} := \sigma_{x1'} \cdot \tan \left(\left(\frac{\varphi_{u,1}}{\gamma_{r,1c}} \right) \cdot \frac{\pi}{180} \right) + \frac{c_{u,1}}{\gamma_{r2b}} = 0 \text{ kPa}$$

Vrstva 2 (z = -5,0 m)

$$f_{s2d} := \sigma_{x2} \cdot \tan \left(\left(\frac{\varphi_{ef,2}}{\gamma_{r,1c}} \right) \cdot \frac{\pi}{180} \right) + \frac{c_{ef,2}}{\gamma_{r2c}} = 40,743 \text{ kPa}$$

Vrstva 3 (z = 7,75 m)

$$f_{s3d} := \sigma_{x3} \cdot \tan \left(\left(\frac{\varphi_{ef,3}}{\gamma_{r,1c}} \right) \cdot \frac{\pi}{180} \right) + \frac{c_{ef,3}}{\gamma_{r2d}} = 142,409 \text{ kPa}$$

Návrhová únosnost na plášti

$$Rs := \pi \cdot d \cdot h_{pv} \cdot f_{s1d} + \pi \cdot d \cdot (h_1 + h_v - h_{pv}) \cdot f_{s1'd} + \pi \cdot d \cdot h_2 \cdot f_{s2d} + \pi \cdot d \cdot h_3 \cdot f_{s3d}$$

$$Rs = 1041,105 \text{ kN}$$

$$Rs_d := \frac{Rs}{Y_{R1}} = 946,459 \text{ kN}$$

$$Ufd_o := Rs_d$$

Výsledná celková únosnost (odvozněné podmínky)

$$Uvd := Ubd + Ufd_o = 5223,173 \text{ kN}$$

$$Vd := 1581 \text{ kN}$$

$$Uvd = 5223,173 \text{ kN} \geq Vd := 1581 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Neodvodněné podmínky dle NAVFAC DM 7.2

Únosnost paty piloty

Pata se nachází v soudržné zemině

$$Rb_n := 9 \cdot c_{ef,4} \cdot A_s = 2326,412 \text{ kN}$$

$$Rb_{nd} := \frac{Rb_n}{\gamma_{R1}} = 2114,9202 \text{ kN}$$

Únosnost na plášti piloty

Součinitel adheze α

Materiál piloty	Konzistence zeminy	Rozsah soudržnosti zeminy c_u [kPa]	Součinitel adheze zeminy α [-]
Dřevěné a betonové piloty	Velmi měkká	0 - 12	0,00 - 1,00
	Měkká	12 - 24	1,00 - 0,96
	Středně tuhá	24 - 48	0,96 - 0,75
	Tuhá	48 - 96	0,75 - 0,48
	Pevná	96 - 192	0,48 - 0,33
Ocelové piloty	Velmi měkká	0 - 12	0,00 - 1,00
	Měkká	12 - 24	1,00 - 0,92
	Středně tuhá	24 - 48	0,92 - 0,70
	Tuhá	48 - 96	0,70 - 0,36
	Pevná	96 - 192	0,36 - 0,19

tab. b

Vrstva 1 (soudržná)

$\alpha_1 := 1,0$...součinitel adheze pro měkkou konzistenci dle tab. b

$$Rs_1 := \alpha_1 \cdot c_{u,1} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{d}{2} \cdot h_1 \right) = 0 \text{ kN}$$

Vrstva 2 (nesoudržná)

$K_2 := 0,56$...uvažujeme klidový zemní tlak

$$\delta_2 := 0,75 \cdot \varphi_{ef,3} = 19,5$$

$$Rs_2 := K_2 \cdot \sigma_{or2} \cdot \tan(\delta_2) \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{d}{2} \cdot h_2 \right) = 343,981 \text{ kN}$$

Vrstva 3 (soudržná)

$$\alpha_3 := 0,48$$

$$Rs_3 := \alpha_3 \cdot c_{ef,3} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{d}{2} \cdot h_3 \right) = 199,051 \text{ kN}$$

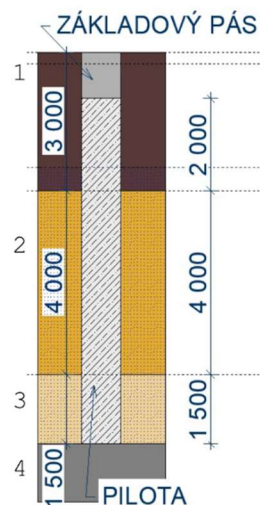
$$Rs_n := Rs_1 + Rs_2 + Rs_3 = 543,032 \text{ kN}$$

$$Rs_{nd} := \frac{Rs_n}{\gamma_{R1}} = 493,6655 \text{ kN}$$

Celková únosnost

$$R := Rs_{nd} + Rb_{nd} = 2608,586 \text{ kN} \geq Vd = 1581 \text{ kN}$$

Vyhovuje



obr. a - Schéma piloty

*Zemina 1 a 4 nevstupuje do návrhu

2. Mezní stav - P1

Vstupní parametry

Regresní koeficienty (viz tab 4)

(Zemina 1 neuvažována pro nízkou únosnost)

Zemina 2	Zemina 3	Zemina 4
$a2 := 91,22$	$a3 := 97,31$	$a4 := 131,92$
$b2 := 48,44$	$b3 := 108,59$	$b4 := 94,96$
$e2 := 490,34$	$e3 := 987,60$	$e4 := 957,61$
$f2 := 445,42$	$f3 := 1084,26$	$f4 := 703,89$
Pro: Nesoudržné $Id=0,7$	Pro: Soudržné $Ic=1,0$	Pro: Poloskalní $R5$

Sečnové moduly deformace [MPa]
(viz tab 5, 6, 7) dle $Id/Ic/R\#, \Phi$ a $h\#$

$$Es2 := 26,97 \quad Es3 := 23,35 \quad Es4 := 58,54$$

Geometrie

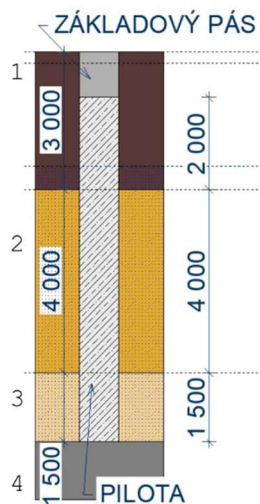
$\Phi := 0,88 \text{ m}$...průměr piloty (konstantní)
$h1 := 2 \text{ m}$...délka piloty (vrstva 1)
$h2 := 4 \text{ m}$...délka piloty (vrstva 2)
$h3 := 1,5 \text{ m}$...délka piloty (vrstva 3)

$$D1 := \frac{h1}{2} = 1 \text{ m} \quad \text{Di...vzdálenost od hlavy piloty po polovinu i-té vrstvy}$$

$$D2 := h1 + \frac{h2}{2} = 4 \text{ m}$$

$$D3 := h1 + h2 + \frac{h3}{2} = 6,75 \text{ m}$$

Vstupní parametry geometrie voleny stejně jako při výpočtu v programu Geo5.



obr. a - Schéma piloty

Neuvažován
podíl q_{s1}
na únosnosti
skrze velmi
špatné
parametry

Výpočet únosnosti na plášti

Koeficienty m_1 a m_2

$m_1 := 0,7$...koeficient druhu zatížení
0,7 pro provozní a
1,0 pro extrémní zatížení

$m_2 := 1$...koeficient vlivu povrchu dřívku
suchý vrt/betonáž pod vodou: 1,0
betonáž pod pažicí suspenzí: 0,9
ochr. PVC/PE (min. tl. 0,7mm): 0,7
ochr. folií+B-systém pletiva: 0,5
ochr. ocelovou výpažnicí: 0,15

Mezní plášťové tření ve vrstvách

$$q_{s2} := a_2 - \frac{b_2}{\left(\frac{D_2}{\Phi}\right)} = 80,563 \text{ kPa}$$

$$q_{s3} := a_3 - \frac{b_3}{\left(\frac{D_3}{\Phi}\right)} = 83,153 \text{ kPa}$$

Mezní plášťová únosnost ve vrstvách

$$R_{s1} := m_1 \cdot m_2 \cdot \pi \cdot (\Phi \cdot h_2 \cdot q_{s2}) = 623,63 \text{ kN}$$

$$R_{s2} := m_1 \cdot m_2 \cdot \pi \cdot (\Phi \cdot h_3 \cdot q_{s3}) = 241,3794 \text{ kN}$$

Únosnost na plášti

$$R_{su} := R_{s1} + R_{s2} = 865,01 \quad [\text{kN}]$$

Výpočet napětí na hlavě piloty při plné mobilizaci plášťového tření

Vážený průměr plášťového tření ze všech vrstev

$$q_{s\Phi} := \frac{(\Phi \cdot h_2 \cdot q_{s2} + \Phi \cdot h_3 \cdot q_{s3})}{(\Phi \cdot h_2 + \Phi \cdot h_3)} = 81,27 \text{ kPa}$$

Napětí v patě piloty při deformaci odpovídající plné mobilizaci pl. tření

$$q_0 := e_4 - \frac{f_4}{\left(\frac{(h_1 + h_2 + h_3)}{\Phi}\right)} = 875,02 \text{ kPa}$$

Koeficient přenosu zatížení z hlavy do paty

$$\beta := \frac{q_0}{\left(q_0 + 4 \cdot q_{s\phi} \cdot \frac{(h_1 + h_2 + h_3)}{\phi} \right)} = 0,24$$

Zatížení v hlavě piloty při deformaci odpovídající plné mobilizaci pl. tření

$$R_y := \frac{R_{su}}{1 - \beta} = 1138,205 \quad [\text{kN}]$$

Výpočet sednutí odpovídající síle od zatížení v hlavě piloty při deformaci odpovídající plné mobilizaci plášťového tření

Zákl. příčinkový koeficient (viz obr. b)

$$I_1 := 0,17$$

Vážený průměr sečnových modulů

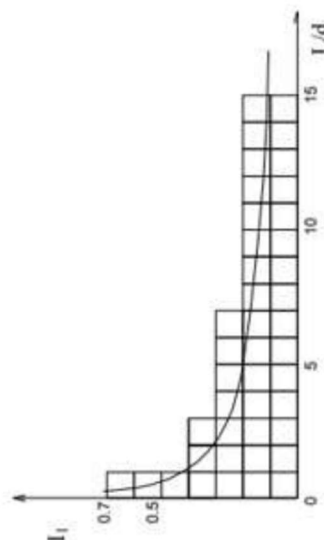
$$Es\phi := \frac{h_2 \cdot Es_2 + h_3 \cdot Es_3}{h_2 + h_3} = 25,983 \quad \text{MPa}$$

Tuhost

$$K := \frac{26500}{Es\phi} = 1019,908$$

Korekční součinitel
(viz obr. c)

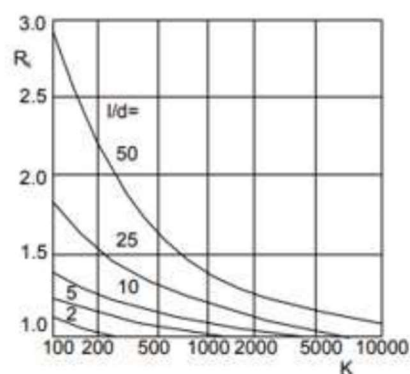
$$R_k := 1,145$$



obr. b

Příčinkový koeficient sedání (viz obr. c)

$$I := I_1 + R_k = 1,315$$



obr. c

Sedání odpovídající síle R_y pro určení konce (bodu) parabolické části zatěžovací křivky

$$s_y := (I_1 \cdot R_k) \cdot \frac{R_y}{\phi \cdot E_S \phi} = 9,69 \quad [\text{mm}]$$

Jako konečný bod křivky bylo zvoleno sednutí $s=25\text{mm}$ (bod $[R_{bu}, k; 25\text{mm}]$)

Mezní únosnost na patě pro $s=25\text{mm}$

$$R_{pu} := \beta \cdot R_y \cdot \frac{25}{s_y} = 704,864 \quad \text{kN}$$

Celková únosnost pro sednutí $s=25\text{mm}$

$$R_{bu} := R_{su} + R_{pu} = 1569,874 \quad \text{kN}$$

Konec parabolické části se nachází v bodě

$$s_y = 9,69 \quad ; \quad R_y = 1138,205$$

Charakteristické maximální zatížení

$$Q_k := 1123,94 \quad \text{kN} \quad \implies \text{Parabolická část}$$

Rovnice parabolické části

$$s_{par} := s_y \cdot \left(\frac{R}{R_y} \right)^2$$

Rovnice lineární části

$$s := s_y + (25 - s_y) \cdot \frac{R - R_y}{R_{bu} - R_y}$$

Sednutí odpovídající maximální charakteristickému zatížení Q_k

$$s := s_y \cdot \left(\frac{Q_k}{R_y} \right)^2 = 9,4483 \quad [\text{mm}]$$

2.5.2 POSOUZENÍ V PROGRAMU GEO5

Pro výpočet v programu GEO5 byly použity totožné metodiky, nicméně možnosti nastavení neumožňují vždy zcela pokrýt výstižně návrhovou situaci. Požadované parametry nejsou všechny proměnné a je tak vhodný přímý zásah do výpočtu, který však GEO5 neumožňuje. Dané odchylky byly minimalizovány.

Na následujících stranách je prezentován výstup z výpočtu nejzatíženější piloty P1 v programu GEO5. Výpočty pro piloty P2 a P3 jsou provedeny v příloze č. 1.

Posouzení piloty**Vstupní data****Projekt**

Akce : Návrh hlubinného založení obytného domu ve Vsetíně
 Část : Pilota P1
 Vypracoval : David Fišman
 Datum : 21. 2. 2019

Nastavení

(zadané pro aktuální úlohu)

Materiály a normy

Betonové konstrukce : EN 1992-1-1 (EC2)
 Součinitele EN 1992-1-1 : standardní

Piloty

Výpočet pro odvozené podmínky : ČSN 73 1002
 Zatěžovací křivka : nelineární (Masopust)
 Vodorovná únosnost : pružný poloprostor
 Metodika posouzení : výpočet podle EN1997
 Návrhový přístup : 2 - redukce zatížení a odporu

Součinitele redukce zatížení (F)			
Trvalá návrhová situace			
		Nepříznivé	Příznivé
Stálé zatížení :	$\gamma_G =$	1,35 [-]	1,00 [-]





Součinitele redukce odporu (R)			
Trvalá návrhová situace			
Součinitel redukce odporu na plášti :	$\gamma_s =$	1,10 [-]	
Součinitel redukce odporu na patě :	$\gamma_b =$	1,10 [-]	
Součinitel redukce únosnosti tažené piloty :	$\gamma_{st} =$	1,15 [-]	

Základní parametry zemín

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]	ν [-]
1	JÍL (F6 CL)		0,00	0,00	20,00	0,40
2	ŠTĚRK S PŘÍMĚSÍ JEMNOZRNNÉ ZEMINY (G3 G-F) AŽ ŠTĚRKOVITÝ JÍL (F2 CG)		35,00	0,00	19,00	0,30
3	ZVĚTRALÉ JÍLOVCE SILTOVCE A PÍSKOVCE (R6)		26,00	100,00	21,00	0,35
4	JÍLOVCE (R5)		18,90	425,00	20,00	0,43

Pro výpočet tlaku v klidu jsou všechny zeminy zadány jako nesoudržné.

David Fišman	Návrh hlubinného založení obytného domu ve Vsetíně Pilota P1
--------------	---

Číslo	Název	Vzorek	E_{oed} [MPa]	E_{def} [MPa]	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [–]
1	JÍL (F6 CL)		-	2,00	20,00	-	-
2	ŠTĚRK S PŘÍMĚSÍ JEMNOZRNNÉ ZEMINY (G3 G-F) AŽ ŠTĚRKOVITÝ JÍL(F2 CG)		-	30,00	19,00	-	-
3	ZVĚTRALÉ JÍLOVCE SILTOVCE A PÍSKOVCE (R6)		-	10,00	21,00	-	-
4	JÍLOVCE (R5)		16,00	-	20,00	-	-

Parametry zemin pro výpočet modulu reakce podloží

Číslo	Název	Vzorek	Typ zeminy	n_h [MN/m ³]
1	JÍL (F6 CL)		soudržná	-
2	ŠTĚRK S PŘÍMĚSÍ JEMNOZRNNÉ ZEMINY (G3 G-F) AŽ ŠTĚRKOVITÝ JÍL(F2 CG)		nesoudržná	8,00
3	ZVĚTRALÉ JÍLOVCE SILTOVCE A PÍSKOVCE (R6)		soudržná	-
4	JÍLOVCE (R5)		soudržná	-

Parametry zemin

JÍL (F6 CL)

Objemová tíha :	γ = 20,00 kN/m ³
Úhel vnitřního tření :	φ_{ef} = 0,00 °
Soudržnost zeminy :	c_{ef} = 0,00 kPa
Poissonovo číslo :	ν = 0,40
Modul přetvárnosti :	E_{def} = 2,00 MPa
Obj.tíha sat.zeminy :	γ_{sat} = 20,00 kN/m ³
Typ zeminy :	soudržná

ŠTĚRK S PŘÍMĚSÍ JEMNOZRNNÉ ZEMINY (G3 G-F) AŽ ŠTĚRKOVITÝ JÍL(F2 CG)

Objemová tíha :	γ = 19,00 kN/m ³
Úhel vnitřního tření :	φ_{ef} = 35,00 °
Soudržnost zeminy :	c_{ef} = 0,00 kPa
Poissonovo číslo :	ν = 0,30
Modul přetvárnosti :	E_{def} = 30,00 MPa
Obj.tíha sat.zeminy :	γ_{sat} = 19,00 kN/m ³
Typ zeminy :	nesoudržná
Modul horiz.stlačitelnosti :	n_h = 8,00 MN/m ³

ZVĚTRALÉ JÍLOVCE SILTOVCE A PÍSKOVCE (R6)

Objemová tíha :	γ = 21,00 kN/m ³
Úhel vnitřního tření :	φ_{ef} = 26,00 °
Soudržnost zeminy :	c_{ef} = 100,00 kPa
Poissonovo číslo :	ν = 0,35
Modul přetvárnosti :	E_{def} = 10,00 MPa
Obj.tíha sat.zeminy :	γ_{sat} = 21,00 kN/m ³
Typ zeminy :	soudržná

JÍLOVCE (R5)

Objemová tíha :	γ = 20,00 kN/m ³
Úhel vnitřního tření :	φ_{ef} = 18,90 °
Soudržnost zeminy :	c_{ef} = 425,00 kPa
Poissonovo číslo :	ν = 0,43
Edometrický modul :	E_{oed} = 16,00 MPa
Obj.tíha sat.zeminy :	γ_{sat} = 20,00 kN/m ³
Typ zeminy :	soudržná

Geometrie

Profil piloty: kruhová

RozměryPrůměr d = 0,88 mDélka l = 7,50 m**Umístění**Vysazení h = -0,75 mHloubka upraveného terénu h_z = 0,25 m

Typ technologie: Vrtané piloty




Modul reakce podloží uvažován podle ČSN 731004.

Materiál konstrukceObjemová tíha γ = 23,00 kN/m³

Výpočet betonových konstrukcí proveden podle normy EN 1992-1-1 (EC2).

Beton : C 20/25Válcová pevnost v tlaku f_{ck} = 20,00 MPaPevnost v tahu f_{ctm} = 2,20 MPaModul pružnosti E_{cm} = 30000,00 MPaModul pružnosti ve smyku G = 12500,00 MPa**Ocel podélná : B500**Mez kluzu f_{yk} = 500,00 MPa**Geologický profil a přiřazení zemin**

Číslo	Vrstva [m]	Přiřazená zemina	Vzorek
1	3,00	JÍL (F6 CL)	

Číslo	Vrstva [m]	Přiřazená zemina	Vzorek
2	4,00	ŠTĚRK S PŘÍMĚSÍ JEMNOZRNNÉ ZEMINY (G3 G-F) AŽ ŠTĚRKOVITÝ JÍL(F2 CG)	
3	1,50	ZVĚTRALÉ JÍLOVCE SILTOVCE A PÍSKOVCE (R6)	
4	-	JÍLOVCE (R5)	

Zatížení

Číslo	Zatížení		Vázev	Typ	N [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	H _x [kN]	H _y [kN]
	nové	změna							
1	ANO		Rd - P1	Návrhové	1580,66	158,00	158,00	0,00	0,00
2	ANO		Rd - P2	Návrhové	1415,37	141,50	141,50	0,00	0,00
3	ANO		Rd - P3	Návrhové	1081,57	108,20	108,20	0,00	0,00
4	ANO		Rd - P4	Návrhové	942,85	0,00	0,00	0,00	0,00
5	ANO		Rd - P5	Návrhové	647,59	0,00	0,00	0,00	0,00
6	ANO		Rd - P6	Návrhové	547,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	ANO		Rd - P7	Návrhové	411,12	0,00	0,00	0,00	0,00
8	ANO		Rk - P1	Užitné	1123,94	112,40	112,40	0,00	0,00
9	ANO		Rk - P2	Užitné	997,49	99,70	99,70	0,00	0,00
10	ANO		Rk - P3	Užitné	773,77	77,40	77,40	0,00	0,00
11	ANO		Rk - P4	Užitné	674,59	0,00	0,00	0,00	0,00
12	ANO		Rk - P5	Užitné	464,45	0,00	0,00	0,00	0,00
13	ANO		Rk - P6	Užitné	396,31	0,00	0,00	0,00	0,00
14	ANO		Rk - P7	Užitné	298,94	0,00	0,00	0,00	0,00

Hladina podzemní vody

Hladina podzemní vody je v hloubce 2,50 m od původního terénu.

Celkové nastavení výpočtu

Výpočet svislé únosnosti : analytické řešení

Typ výpočtu : výpočet pro odvodněné podmínky

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

Metodika posouzení : bez redukce vstupních dat

Posouzení čís. 1**Posouzení svislé únosnosti piloty podle teorie MS - mezivýsledky**

Výpočet únosnosti v patě:

Součinitel únosnosti	N_c	=	13,85
Součinitel únosnosti	N_d	=	5,74
Součinitel únosnosti	N_b	=	2,43
Součinitel únosnosti	K_1	=	1,00
Výpočtová únosnost na patě piloty	R_{bd}	=	7801,28 kPa
Plocha příčného řezu piloty	A_p	=	6,08E-01 m ²

Únosnost na plášti piloty:

Zkrácení účinné délky piloty $L_p = 0,71$ m

Hloubka [m]	Mocnost [m]	φ_d [°]	c_{ud} [kPa]	γ [kN/m ³]	γR_2 [-]	f_s [kPa]	R_{si} [kN]
1,50	1,50	0,00	0,00	20,00	1,00	0,00	0,00
2,00	0,50	0,00	0,00	10,00	1,00	0,00	0,00
6,00	4,00	35,00	0,00	9,00	1,00	29,58	297,37
6,79	0,79	26,00	100,00	11,00	1,00	129,94	259,51

Posouzení svislé únosnosti piloty podle teorie MS - výsledky

Výpočet proveden pro zatěžovací stav číslo 1. (Rd - P1)

Posouzení tlačené piloty:

Únosnost piloty na plášti $R_s = 556,88$ kNÚnosnost piloty v patě $R_b = 4313,49$ kNÚnosnost piloty $R_c = 4870,37$ kNExtrémní svislá síla $V_d = 1580,66$ kN $R_c = 4870,37$ kN > $1580,66$ kN = V_d **Svislá únosnost piloty VYHOVUJE****Posouzení čís. 1****Výpočet zatěžovací křivky piloty - vstupní data**

Vrstva číslo	Počátek [m]	Konec [m]	Mocnost [m]	E_s [MPa]	Součinitel a	Součinitel b
1	0,00	2,75	2,75	1,00	10,01	10,01
2	2,75	6,75	4,00	26,97	91,22	48,44

David Fišman	Návrh hlubinného založení obytného domu ve Vsetíně Pilota P1
--------------	---

Vrstva číslo	Počátek [m]	Konec [m]	Mocnost [m]	E_s [MPa]	Součinitel a	Součinitel b
3	6,75	8,25	1,50	23,35	97,31	108,59

Uvažovat zatížení : užité
 Součinitel vlivu ochrany dřívku $m_2 = 1,00$
 Limitní sedání piloty $s_{lim} = 25,0$ mm
 Regresní součinitel $e = 957,61$
 Regresní součinitel $f = 703,89$

Výpočet zatěžovací křivky piloty - mezivýsledky

Mezní síla na plášti piloty $R_{sy} = 900,43$ kN
 Velikost napětí na patě při R_{sy} $q_0 = 882,53$ kPa
 Průměrné plášťové tření $q_s = 62,04$ kPa
 Průměrný sečnový modul deformace $E_s = 19,32$ MPa
 Součinitel přenosu zatížení do paty $\beta = 0,28$

Příčinkové součinitele sedání :
 Základní - závislý na poměru l/d $l_0 = 0,16$
 Součinitel vlivu tuhosti piloty $R_k = 1,00$
 Součinitel vlivu nestlačitelné vrstvy $R_h = 1,00$

Body zatěžovací křivky

Sednutí [mm]	Zatížení [kN]
0,0	0,00
2,5	566,03
5,0	800,49
7,5	980,40
10,0	1132,07
12,5	1255,16
15,0	1326,10
17,5	1397,05
20,0	1467,99
22,5	1538,94
25,0	1609,88

Výpočet zatěžovací křivky piloty - výsledky

Zatížení na mezi mobilizace plášť.tření $R_{yu} = 1242,01$ kN
 Velikost sedání odpovídající síle R_{yu} $s_y = 12,0$ mm

Únosnosti odpovídající sednutí 25,0 mm :
 Únosnost paty $R_{bu} = 709,45$ kN
 Celková únosnost $R_c = 1609,88$ kN

Pro zatížení $Q = 1123,94$ kN je sednutí piloty 9,9 mm

Posouzení čís. 1

Vstupní data pro výpočet vodorovné únosnosti piloty

Výpočet proveden s automatickým výběrem nejnepríznivějších zatěžovacích stavů.
Vodorovná únosnost posouzena ve směru maximálního účinku zatížení.

Průběhy vnitřních sil a deformace piloty

Průběh deformací a vnitřních sil po pilotě - maximální hodnoty:

Vzdál. [m]	Modul k [MN/m ³]	Deformace [mm]	Pootoč. [mRad]	Napětí [kPa]	Pos.síla [kN]	Moment [kNm]
0.00	0.00	3.54	1.69	7.59	0.00	223.45
0.38	1.52	3.11	1.59	6.66	2.35	223.00
0.75	1.52	2.70	1.50	5.78	4.40	221.72
1.13	1.52	2.31	1.40	4.96	6.17	219.73
1.50	1.52	1.95	1.31	4.19	7.68	217.12
1.88	1.52	1.62	1.22	18.21	8.94	214.00
2.00	1.52	1.52	1.19	25.51	12.22	212.24
2.00	25.00	1.52	1.19	25.51	12.22	212.24
2.25	27.27	1.31	1.13	40.10	18.76	208.74
2.63	30.68	1.02	1.04	44.25	34.47	198.63
3.00	34.09	0.75	0.96	36.35	47.85	183.07
3.38	37.50	0.51	0.89	26.99	58.37	163.03
3.75	40.91	0.28	0.82	16.33	65.58	139.66
4.13	44.32	0.07	0.77	4.46	69.07	114.28
4.50	47.73	0.18	0.73	6.06	68.45	88.36
4.88	51.14	0.45	0.69	16.12	63.34	63.51
5.25	54.55	0.70	0.67	27.07	53.32	41.50
5.63	57.95	0.95	0.66	38.99	37.96	24.24
6.00	61.36	1.20	0.65	28.45	16.81	13.82
6.00	7.58	1.20	0.65	28.45	16.81	13.82
6.38	7.58	1.44	0.65	7.71	13.52	8.11
6.75	7.58	1.68	0.64	9.01	9.62	3.76
7.13	7.58	1.92	0.64	10.30	5.11	0.98
7.50	7.58	2.16	0.64	11.59	0.00	0.00

Průběh deformací a vnitřních sil po pilotě - minimální hodnoty:

Vzdál. [m]	Modul k [MN/m ³]	Deformace [mm]	Pootoč. [mRad]	Napětí [kPa]	Pos.síla [kN]	Moment [kNm]
0.00	0.00	-5.01	-1.19	-5.37	-0.00	-158.00
0.38	1.52	-4.40	-1.13	-4.71	-1.66	-157.68
0.75	1.52	-3.82	-1.06	-4.09	-3.11	-156.78
1.13	1.52	-3.27	-0.99	-3.51	-4.37	-155.37
1.50	1.52	-2.76	-0.93	-2.96	-5.43	-153.53
1.88	1.52	-2.29	-0.86	-12.88	-6.32	-151.32
2.00	1.52	-2.14	-0.84	-18.04	-8.64	-150.08

Vzdál. [m]	Modul k [MN/m ³]	Deformace [mm]	Pootoč. [mRad]	Napětí [kPa]	Pos.síla [kN]	Moment [kNm]
2.00	25.00	-2.14	-0.84	-18.04	-8.64	-150.08
2.25	27.27	-1.85	-0.80	-28.36	-13.27	-147.60
2.63	30.68	-1.44	-0.74	-31.29	-24.38	-140.46
3.00	34.09	-1.07	-0.68	-25.71	-33.84	-129.45
3.38	37.50	-0.72	-0.63	-19.09	-41.28	-115.28
3.75	40.91	-0.40	-0.58	-11.54	-46.38	-98.75
4.13	44.32	-0.10	-0.54	-3.15	-48.84	-80.81
4.50	47.73	-0.13	-0.51	-8.58	-48.40	-62.48
4.88	51.14	-0.32	-0.49	-22.80	-44.79	-44.91
5.25	54.55	-0.50	-0.48	-38.29	-37.70	-29.34
5.63	57.95	-0.67	-0.47	-55.13	-26.84	-17.14
6.00	61.36	-0.85	-0.46	-40.23	-11.89	-9.77
6.00	7.58	-0.85	-0.46	-40.23	-11.89	-9.77
6.38	7.58	-1.02	-0.46	-10.91	-9.56	-5.74
6.75	7.58	-1.19	-0.46	-12.74	-6.80	-2.66
7.13	7.58	-1.36	-0.45	-14.57	-3.61	-0.69
7.50	7.58	-1.53	-0.45	-16.39	-0.00	-0.00

Maximální vnitřní síly a deformace:

Max.deformace piloty = 5,0 mm
 Max.posouvající síla = 69,07 kN
 Maximální moment = 223,45 kNm

Dimenzace výztuže:

Vyztužení - 7 ks profil 22,0 mm; krytí 100,0 mm
 Typ konstrukce (stupně vyztužení) : pilota

Stupeň vyztužení $\rho = 0,437 \% > 0,411 \% = \rho_{\min}$

Zatížení : $N_{Ed} = -1580,66 \text{ kN}$ (tlak) ; $M_{Ed} = 223,45 \text{ kNm}$
 Únosnost : $N_{Rd} = -5287,74 \text{ kN}$; $M_{Rd} = 747,49 \text{ kNm}$

Navržená výztuž piloty VYHOVUJE**Dimenzace smykové výztuže:**

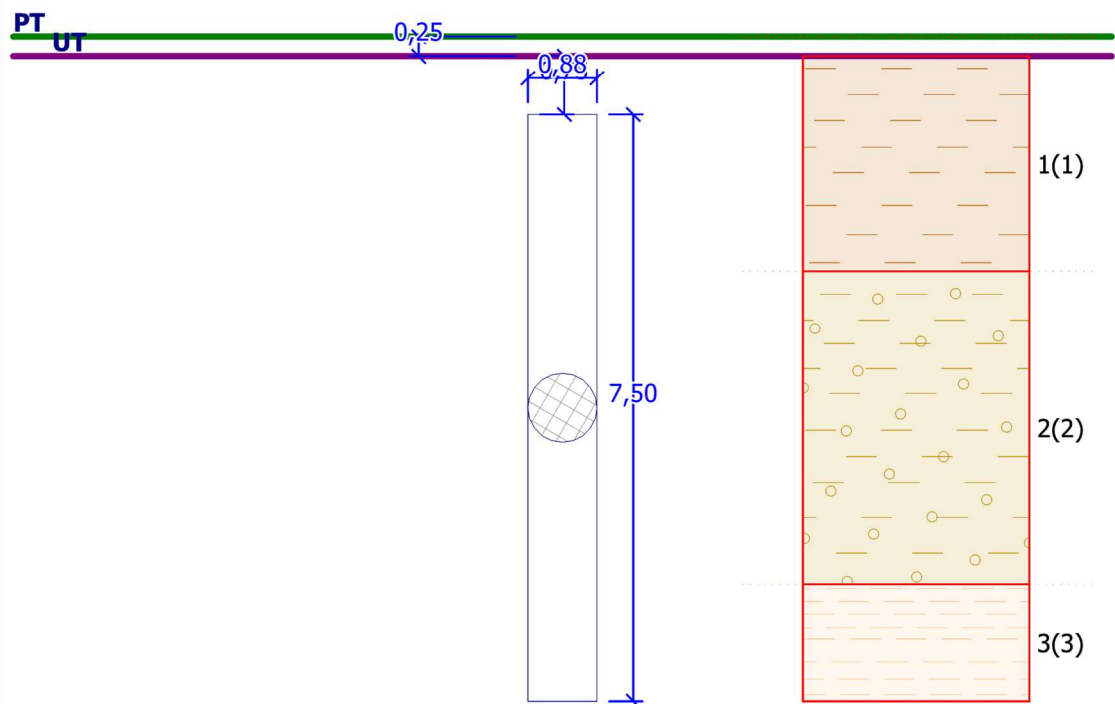
Smyková výztuž - profil 6,0 mm; vzdálenost 200,0 mm

Posouvající síla na mezi únosnosti: $V_{Rd} = 380,04 \text{ kN} > 69,07 \text{ kN} = V_{Ed}$

Průřez VYHOVUJE.

pouze konstrukční smyková výztuž

Název :	Fáze - výpočet : 1 - 1
---------	------------------------



JÍL (F6 CL)

ZVĚTRALÉ JÍLOVCE SILTOVCE A
PÍSKOVCE (R6)

ŠTĚRK S PŘÍMĚSÍ JEMNOZRNNÉ
ZEMINY (G3 G-F) AŽ ...

Posouzení svislé únosnosti : NAVFAC DM 7.2

Výpočet proveden pro zatěžovací stav číslo 1. (Rd - P1)
Součinitel výpočtu kritické hloubky $k_{dc} = 1,00$

Posouzení tlačené piloty:

Únosnost piloty na plášti $R_s = 444,14 \text{ kN}$

Únosnost piloty v patě $R_b = 2114,92 \text{ kN}$

Únosnost piloty $R_c = 2559,06 \text{ kN}$

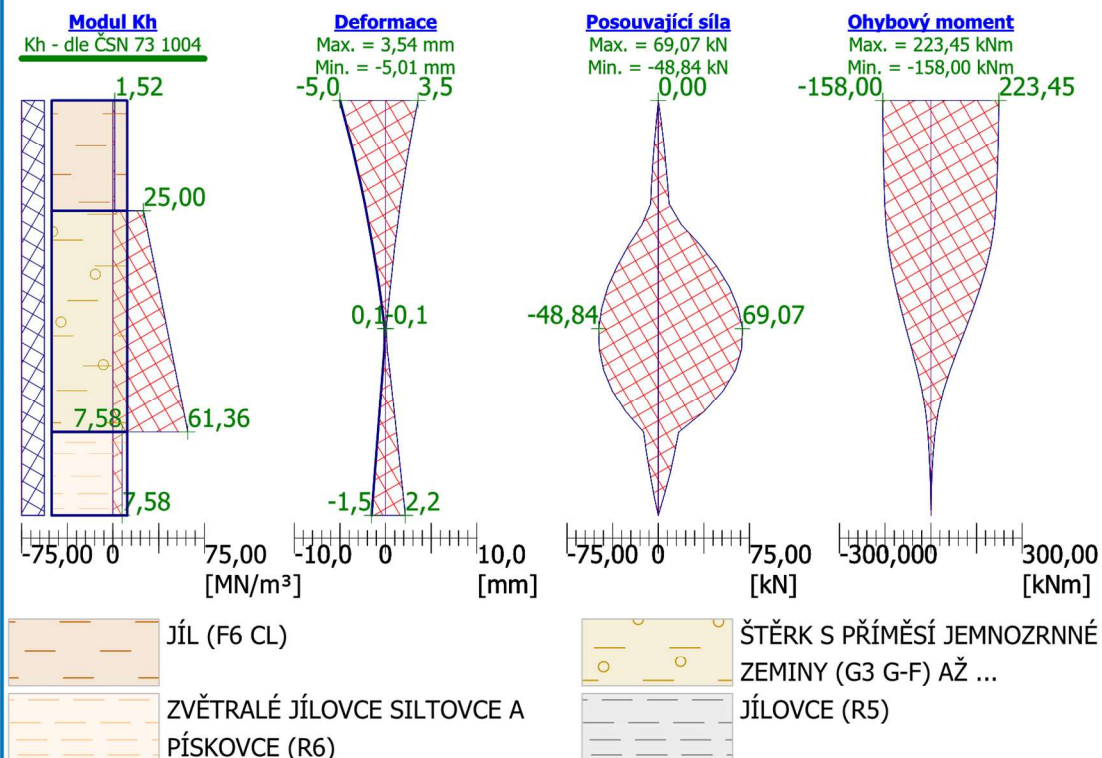
Extrémní svislá síla $V_d = 1580,66 \text{ kN}$

$R_c = 2559,06 \text{ kN} > 1580,66 \text{ kN} = V_d$

Svislá únosnost piloty VYHOVUJE

Název :

Fáze - výpočet : 1 - 1

**Maximální vnitřní síly a deformace:**

Max.deformace piloty = 5,0 mm
 Max.posouvající síla = 69,07 kN
 Maximální moment = 223,45 kNm

Dimenzace výztuže:

Vyztužení - 7 ks profil 22,0 mm; krytí 100,0 mm
 Typ konstrukce (stupně vyztužení) : pilota

Stupeň vyztužení $\rho = 0,438 \% > 0,411 \% = \rho_{\min}$

Zatížení : $N_{Ed} = -1580,66$ kN (tlak) ; $M_{Ed} = 223,45$ kNm

Únosnost : $N_{Rd} = -5287,74$ kN; $M_{Rd} = 747,49$ kNm

Navržená výztuž piloty VYHOVUJE**Dimenzace smykové výztuže:**

Smyková výztuž - profil 6,0 mm; vzdálenost 200,0 mm

Posouvající síla na mezi únosnosti: $V_{Rd} = 380,04$ kN $> 69,07$ kN = V_{Ed}

Průřez VYHOVUJE.

pouze konstrukční smyková výztuž

2.5.3 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ Z JEDNOTLIVÝCH POSUDKŮ

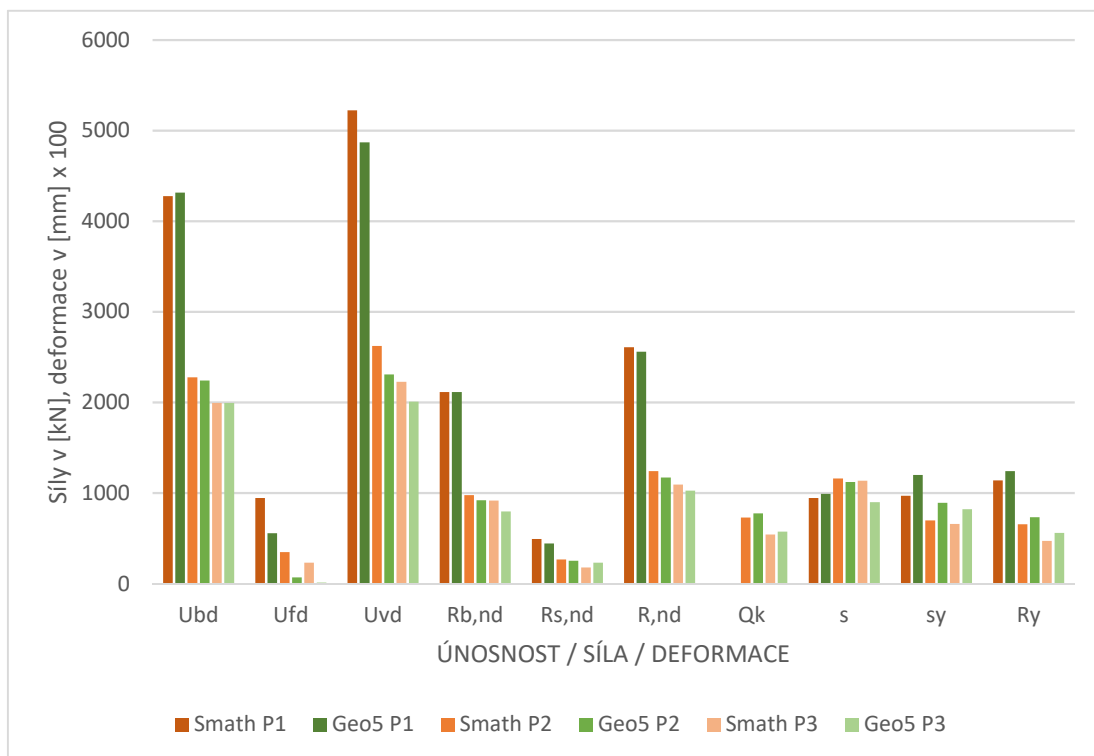
Při porovnání výsledků z manuálního výpočtu a výpočtu pomocí GEO5, nám vyšly najevo poměrně značně odlišné výsledky. Výsledné rozdělení pilot dle reakcí (viz Tab. 6.) udává podle manuálního výpočtu nutnost zesílení šesti pilot. Oproti výsledku z programu GEO5.

Výpočty v programu GEO5 jsou ovlivněny ne zcela zřejmými faktory, které se projevily až po výsledném zrekapitulování tištěné dokumentace. Výpočet GEO5 obsahuje oproti manuálnímu výpočtu zakomponování zkrácení účinné délky piloty vlivem L_p (viz str.54), jedná se o postup (resp. krok) podle Caqueta-Kisela. Přestože je krok volitelný, program ho provádí bez upozornění uživatele. Dalším rozdílem je výpočet geostatického napětí, které program GEO5 provádí od upraveného terénu. Jinou odlišností je nemožnost deaktivace neúnosné resp. nespolehlivé vrstvy. V našem případě se jedná o první vrstvu. Na tu bylo upozorněno v Geotechnické zprávě pro extrémně nízký penetrační odpor klesající pod 1 MPa. Tato zemina také může při dosycení ještě zhoršit konzistenci na tuhou až měkkou. Z uvedených důvodů je tak nejbezpečnější zcela vypustit možné pozitivní dopady této vrstvy na únosnost pilot.

Smath		Geo5	
P3 - 22x	232,51	P3 - 25x	232,51
	239,07		239,07
	262,33		262,33
	262,98		262,98
	270,51		270,51
	298,94		298,94
	305,73		305,73
	311,15		311,15
	323,70		323,70
	366,70		366,70
	371,11		371,11
	388,31		388,31
	390,69		390,69
	396,31		396,31
	415,85		415,85
	436,77		436,77
	451,54		451,54
	453,64		453,64
P2 - 12x	454,98	P2 - 12x	454,98
	464,45		464,45
	514,22		514,22
	542,74		542,74
	570,63		570,63
	571,56		571,56
	574,05		574,05
	603,16		603,16
	620,36		620,36
	620,56		620,56
P1 - 8x	624,43	P1 - 5x	624,43
	624,43		624,43
	654,27		654,27
	674,59		674,59
	729,37		729,37
	729,37		729,37
	744,94		744,94
	755,86		755,86
	773,77		773,77
	906,44		906,44
	930,62		930,62
	942,45		942,45
	997,49		997,49
	1123,94		1123,94

Tab. 6 – Přehled zatížení pilot a jejich rozdělení do skupin P1, P2 a P3

Některé rozdíly v únosnosti však není možné zcela vysvětlit bez podrobného rozepsání výpočtu ,které však program GEO5 neumožňuje a problematika by tak vyžadovala bližší zkoumání mimo rozsah této práce. Pro



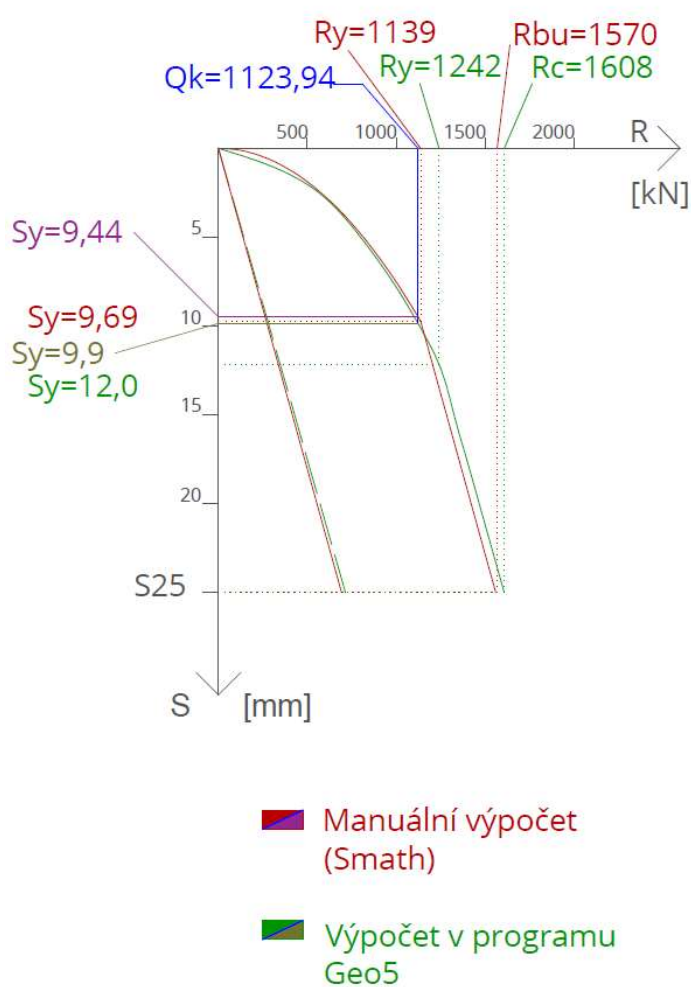
Obr. 21 -- Grafické porovnání dvojic výsledků pro piloty P1, P2 a P3, vycházejících z výpočtů programem Geo 5 a Smath.

konkrétnější představu viz grafická interpretace viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, případně číselně viz Tab. 7 a Tab. 8.

Každý z postupů má tak své negativa a pozitiva. Pro konkrétnější a transparentnější návrh se jeví manuální výpočet jako vhodnější. Program GEO5 však poskytuje výhodou širší nabídkou metodik, při současném „zaručení“ spolehlivosti výstupů v případě korektních vstupů. Je tak nutná velmi podrobná znalost programu a jeho specifik.

Piloty P1

U pilot P1 byl rozhodující 1. mezní stav, pro který bylo nutné prodloužit pilotu na 7,5 m po poloskalní jílovce R4/R5. Po tomto kroku únosnost razantně stoupla (viz Tab. 7). Dle geotechnické zprávy má zvětralá vrstva mocnost přibližně 1 m. Zavedením předpokladu mocnosti 1,5 m a požadavkem na zavrtání min. 0,5 m do jílovce R5/R4 je tak (i vzhledem k maximální deformaci spadající do oblasti před plnou mobilizací plášťového tření) zajištěna dostatečná bezpečnost přenosu zatížení a akceptovatelného sedání. [1]



Obr. 22 - Porovnání výsledků mezní zatěžovací křivky P1

Piloty P2 a P3

U pilot P2 a P3 dlouhé 5,5 a 4,5 m, kdy obě končí ve šterkové vrstvě, byl rozhodující 2. mezní stav, při kterém bylo poněkud problémové splnit optimální hranici 12 mm pro svislou deformaci podílející se na celkovém průměrném sedání [1]. V případě ručního výpočtu, kdy vycházely horší parametry u druhého mezního stavu již bylo nutno přistoupit k přerozdělení pilot dle přenášených charakteristických sil (viz Tab. 6).

P1	Smath	Geo5	
1. Mezní stav			j.
Únosnost na patě (odvodněné podmínky)	4277	4313	kN
Únosnost na plášti (odvodněné podmínky)	946	557	kN
Celková únosnost (odvodněné podmínky)	5223	4870	kN
Únosnost na patě (neodvodněné podmínky)	2115	2115	kN
Únosnost na plášti (neodvodněné podmínky)	494	444	kN
Celková únosnost (neodvodněné podmínky)	2609	2559	kN
2. Mezní stav			
Hodnota svislá deformace pro Char. sílu	9,44	9,9	mm
Svislá deformace pro mezní mobilizaci plášťového tření	9,69	12	mm
Únosnost při mezní mobilizaci plášťového tření	1138	1242	kN

Tab. 7 - Porovnání parametrů únosnosti pro Piloty P1

P2	Smath	Geo5	P3	Smath	Geo5	
1. Mezní stav			1. Mezní stav			j.
Únosnost na patě (odvodněné podmínky)	2275	2241	Únosnost na patě (odvodněné podmínky)	1994	1995	kN
Únosnost na plášti (odvodněné podmínky)	347	70	Únosnost na plášti (odvodněné podmínky)	232	11	kN
Celková únosnost (odvodněné podmínky)	2622	2310	Celková únosnost (odvodněné podmínky)	2226	2007	kN
Únosnost na patě (neodvodněné podmínky)	977	919	Únosnost na patě (neodvodněné podmínky)	915	795	kN
Únosnost na plášti (neodvodněné podmínky)	265	252	Únosnost na plášti (neodvodněné podmínky)	177	230	kN
Celková únosnost (neodvodněné podmínky)	1242	1172	Celková únosnost (neodvodněné podmínky)	1092	1025	kN
2. Mezní stav			2. Mezní stav			
Maximální vybraná reakce z charakteristických sil od zatížení	730	774	Maximální vybraná reakce z charakteristických sil od zatížení	543	574	kN
Hodnota svislá deformace pro Char. sílu	11,6	11,2	Hodnota svislá deformace pro Char. sílu	11,35	9	mm
Svislá deformace pro mezní mobilizaci plášťového tření	6,98	8,9	Svislá deformace pro mezní mobilizaci plášťového tření	6,57	8,2	mm
Únosnost při mezní mobilizaci plášťového tření	654	732	Únosnost při mezní mobilizaci plášťového tření	473	560	kN

Tab. 8 - Porovnání parametrů únosnosti pro Piloty P2 a P3

Technologický postup

Vzhledem k charakteru geologie a případným komplikacím se jako nejvhodnější jeví rotačně-náběrově vrtané piloty s dočasným pažením ocelovou výpažnicí. Vyztužení pilot bude řešeno dle konstrukčních zásad zhotovení pilot (viz str. 17). Podélná výztuž bude provedena jako 7 profilů průměru 22 mm a smyková výztuž ovinutím spirálou průměru 6 mm při stoupání po 200 mm. Krytí výztuže bude vzhledem k dočasné pažnici 100 mm. Vyztužení vyhoví i na namáhání přídatnými momenty od excentricity, uvažovanými jako 1/10 svislého zatížení. Jako materiál výztuže byla zvolena ocel B500B. Beton pro zhotovení pilot bude mít parametry konzistence S3, $D_{\max} = 16\text{mm}$ a třídy C25/30 s ohledem na agresivitu spodní vody (XA1) vykazující vyšší obsah agresivního CO_2 ($>15\text{ mg/l}$). Materiál základových pasů byl zvolen beton C25/30 XC2 (karbonatce pro prostředí mokré, občas suché), XF1 (mrazové cykly pro mírné nasycení vodou) $D_{\max}=32\text{mm}$ (max. zrno kameniva) konzistence S3 dle ČSN EN 1992. Jako výztuž pasů byla zvolena ocel B500B.

Nejprve proběhne skrývka ornice a následně (vzhledem k pevnosti první vrstvy) budou provedeny vrty pro piloty. Výztuž musí z pilot přesahovat v dostatečné délce, která umožní stykování se nadzákladové konstrukce. V nejkratší možné době (skrže degradaci výztuže) budou provedeny základové rýhy a spojení pilot základovým roštem.

3 ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce bylo řešeno hlubinné založení bytového domu ve Vsetíně. Návrh vychází z inženýrsko - geologického průzkumu a z podkladů zatížení od horní stavby. Posouzení bylo provedeno na 1. a 2. mezní stav v souladu s normou ČSN EN 1997-1 (Eurokód 7). Výpočty byly provedeny manuálně v programu Smath a dále ověřeny v programu GEO5. Na závěr praktické části byly při porovnání výsledků rozepsány možné příčiny vzniku odchylek spolu s poukázáním na specifika, která každý návrh obsahuje.

Navrhované vrtané piloty byly v rámci návrhu rozděleny do tří skupin podle maximálního zatížení, pro které byly následně posouzeny. Odchytky, vzhledem k poměrně hustému rozptylu sil od horní stavby, vedly z důvodů nadměrných deformací k nutnosti mírně odlišného kvantitativního rozdělení pilot v uvažovaných třech skupinách. V obou případech výsledné únosnosti pokrývají celé spektrum zatížení s přiměřenými rezervami. Z ekonomických důvodů a z důvodu urychlení prací byl zvolen stejný optimální průměr pilot pro všechny tři řešení.

4 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

4.2 KNIHY

[1] MASOPUST, Jan. Navrhování základových a pažicích konstrukcí: příručka k ČSN EN 1997. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2012. ISBN 978-80-7438-312.

[2] LOCKER, Jiří, Jiří POSPÍŠIL a Milena ŠMALÍKOVÁ. Geologie: Učební texty pro studenty kombinovaného a denního studia. Učební texty vysokých škol. Brno: Electronic publishing ústav geotechniky FAST VUT v Brně.

[3] MASOPUST, Jan a Vera GLISNÍKOVÁ. Zakládání staveb: modul M01 : zakládání staveb. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 182 s. ISBN 978-80-7204-538-9.

[4] JANÍK, Oldřich. Obytný soubor Vsetín - Rokytnice - Inženýrskogeologický průzkum: Geotechnická zpráva č. 2519/07. Zlín, 2007.

[5] UTÍKAL, Aleš. Technická zpráva Objekt A2: Konstrukční část projektu pro provedení stavby. A+Z Projekt Team, 2013.

[6] MIKEŠ, Miroslav. Rozbor vody - Vsetín, Rokytnice: Vzorek 156, Protokol č. 133/2007. 2007.

[7] SVAZ VÝROBCŮ BETONU ČR. Průvodce betonářskou normou ČSN EN 206-1 Změna Z3. Beton – část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: SVB, 2009.

[8] Vrtek, F. (1998). Mechanika zemin, Inženýrská geologie a hydrogeologie v praxi. 197 s.,

[9] NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S. Department of the Navy, 1984.

4.3 JINÉ ELEKTRONICKÉ ZDROJE

LYŠÁK, Arnošt a Petr KLABLENA. Stoleté zkušenosti s pilotami Franki. Asb-portal [online]. Brno: Spezialbau, 2012, 11.8.2012 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/geotechnika/stoleté-zkušenosti-spilotami-franki> [10]

Piloty Screwsol při zakládání staveb. In: Asb-portal [online]. Bratislava: Jaga Media, 2011 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/stavebni-technika/piloty-screwsol-pri-zakladani-staveb> [11]

ALDORF, Josef. Statika a dynamika geotechnických staveb [online]. In: . Ostrava, 2009, s. 94 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/Vyukova-prezentace--Statika-a-dynamika-geotechnickych-staveb.pdf> [12]

Vrtané piloty [online]. Praha: Čeněk a Ježek, 1994 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.vrtanepiloty.cz/> [13]

MASOPUST, Jan. Vrtané piloty: Teze habilitační práce. Brno, 1999. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. [14]

ČÚZK: Státní správa zeměměřičství a katastru [online]. Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální, 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.cuzk.cz/> [15]

Geologie.VSB: Hlubokomořské sedimenty (obr. Thurman H.V., Trujillo A.P., 2005) [online]. Ostrava [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/Sedimentologie/textova%20cast/sedimentacni%20prostr/Hlubokomo%C5%99sk%C3%A9%20sedimenty.htm> [16]

Geology: Česká geologická služba [online]. Praha [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.geology.cz> [17]

Mapa ČR [online]. Brno: Mapy.cz: © Seznam.cz, 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz> [18]

Program Pilota: Výpočet Piloty [online]. Praha: FINE SPOL s.r.o, 2015 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.fine.cz/napoveda/geo5/cs/program-pilota-01/>
[20]

4.4 NORMY

[21] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2. Navrhování betonových konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 2011.

[22] ČSN EN 1997-1 Eurokód 7. Navrhování geotechnických konstrukcí: Část 1: Obecná pravidla. 1. Praha: ČNI, 2006.

[23] ČSN EN 1997-2 Eurokód 7. Navrhování geotechnických konstrukcí: Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy. 1. Praha: ČNI, 2006.

5 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

5.1 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Západní Karpaty na Moravě s okrajem Českého masívu	11
Obr. 2 - Turbiditní proudy a gradační zvrstvení	12
Obr. 3 - Členění působení pilot, mobilizace plášťového tření	14
Obr. 4 - Evropská klasifikace pilot.....	16
Obr. 5 - Příklad armokoše vrtané piloty.....	19
Obr. 6 - Technologie provádění pilot průběžným šnekem (CFA).....	21
Obr. 7 - Vrtací nástroje	21
Obr. 8 - Příklady ražených pilot.....	22
Obr. 9 - Technologický postup výroby předrážené piloty Franki	25
Obr. 10 - Zatěžovací most [11]	27
Obr. 11 - Hydraulický lis [11]	27
Obr. 12 - Schéma zkušebního mostu typu „hříbek“ pro zatížení do 22 MN.....	28
Obr. 13 - Mezní zatěžovací křivka [3]	32
Obr. 14 - Mapa katastru nemovitostí [15]	34
Obr. 15 - Mapa zájmové oblasti [18]	34
Obr. 16 - Situace průzkumu [4].....	35
Obr. 17 - Výřez z mapového listu 25-322, (z aplikace České geologické služby)..	36
Obr. 18 - Postupné odvození a konstrukce finálního návrhového modelu geologie	38
Obr. 19 - Reakce pilot - návrhová kombinace.....	39
Obr. 20 - Reakce pilot - charakteristická kombinace	39
Obr. 21 - - Grafické porovnání dvojic výsledků pro piloty P1, P2 a P3, vycházejících z výpočtů programem Geo 5 a Smath.	63
Obr. 22 - Porovnání výsledků mezní zatěžovací křivky P1	64

5.2 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Průměry pažnic a vrtného nářadí [1]	17
Tab. 2 - Minimální vyztužení železobetonových vrtaných pilot a příčná výztuž [1]	18
Tab. 3 - Součinitelé zatížení y_f a účinku zatížení y_e [1].....	29
Tab. 4 - Součinitelé parametrů základové půdy y_M [1].....	30
Tab. 5 - Součinitelé únosnosti y_m [1]	30
Tab. 6 - Přehled zatížení pilot a jejich rozdělení do skupin P1, P2 a P3	62
Tab. 7 - Porovnání parametrů únosnosti pro Piloty P1	65
Tab. 8 - Porovnání parametrů únosnosti pro Piloty P2 a P3	65

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

1. MS, 2. MS	První mezní stav a druhý mezní stav
I_D	Relativní ulehlost
I_c	Index konzistence
L	Délka piloty
L_{sat}	Délka piloty sahající pod hladinu podzemní vody
A_s	Plocha paty piloty
h_i	Dílčí mocnost i-té vrstvy
d	Průměr dřívku piloty
Φ	Průměr
c_{ef}	Efektivní soudržnost
c_u	Totální soudržnost
φ_{ef}	Efektivní úhel vnitřního tření
φ_u	Totální úhel vnitřního tření
E_{def}	Modul deformace
E_s	Sečnový modul deformace
E_{oed}	Edometrický modul
ν	Poissonovo číslo
γ_s	Objemová tíha zeminy nad vodou (nesaturovaná)
γ_{sat}	Objemová tíha zeminy pod vodou (saturovaná)
D_{max}	Maximální velikost zrna kameniva v betonu
h_{pv}	Hladina podzemní vody
h_v	Vzdálenost od hlavy pilot po terén
γ_u	Objemová tíha vody
$k_i, \gamma_i, \gamma_{r,i}$	Součinitelé výpočtu 1. mezního stavu
$\gamma_{R,M,A}$	Součinitelé návrhových hodnot
σ_{ori}	Geostatické napětí
σ_{xi}	Kontaktní napětí
$f_{si,d}$	Tření na plášti v jednotlivých vrstvách
U_{bd}	Únosnost přenášená patou pilotou (odvodněné podmínky)
$U_{fd,o}, R_{s,d}$	Únosnost přenášená pláštěm piloty (odvodněné podmínky)
V_d	Návrhová svislá síla působící na pilotu
$R_{b,nd}$	Návrhová únosnost paty piloty (neodvodněné podmínky)
$R_{s,nd}$	Návrhová únosnost pláště piloty (neodvodněné podmínky)
a, b, e, f	Regresní součinitele dle Masopusta
D_i	Vzdálenost od hlavy piloty po polovinu i-té vrstvy
m_1, m_2	Koeficienty výpočtu 2. mezního stavu
q_{si}	Mezní plášťové tření ve vrstvě
R_{su}	Únosnost na plášti piloty pro 2. mezní stav
R_y	Mezní zatížení hlavy při plné mobilizaci plášťového tření
s_y	Odpovídající sednutí pro plnou mobilizaci plášťového tření
s	Svislá deformace – sedání
β	Koeficient přenosu zatížení z hlavy do paty piloty

7 SEZNAM PŘÍLOH

1. Výstupy z programu GEO5 pro piloty P2 a P3
2. Výstupy z programu Smath pro piloty P2 a P3